LA VITA SOCIALE DEI BATTERI • 40 ANNI DI MISSIONI SU MARTE

LE SCIENZE

edizione italiana di
SCIENTIFIC AMERICAN

www.lescienze.it

Le recenti scoperte sui virus ridefiniscono l'idea di vivente

Che cos'è la vita?

La marijuana naturale del cervello

Quando i dinosauri abitavano l'Alaska

La controversia sulla scoperta di Nettuno

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - MILANO numero 438 - febbraio 2005 - € 3,90

9 770036 808000 50438

La parola «vita»: istruzioni per l'uso

di Enrico Bellone

Grandi idee condivise regolano da sempre la cultura umana. A volte accade che una di esse venga messa in discussione, e ciò suscita, com'è naturale, controversie e resistenze. È questo il caso, nei tempi nostri, della parola «vita». Per generazioni abbiamo infatti accettato che esistesse un confine preciso tra ciò che è vivo, e ciò che vivo non è. E abbiamo altresì accettato, durante i secoli, che il vivente fosse suddiviso in tre distinti regni: mondo vegetale, mondo animale e uomo.

Christian Jegou, Publiphoto Diffusion/SPL/Grazia Neri

L'EVOLUZIONE DELLA VITA in una rappresentazione artistica. Recenti scoperte su virus e batteri ci costringono a rivedere il confine tra esseri viventi e non.

Nella seconda metà dell'Ottocento, grazie all'evoluzionismo, caddero le barriere che la tradizione aveva edificato tra l'uomo e gli altri animali. Con gli ultimissimi anni, altre gloriose barriere si sono incrinate, e si aprono ora domande nuove sul significato di «vita». Alcune di queste domande s'incrociano tra le righe di tre articoli che trovate in questo numero della rivista. Una prima questione è posta in un articolo, a pagina 60, su una sostanza elaborata da un vegetale, la marijuana. Gli autori ricordano che il nostro cervello ne fabbrica naturalmente una forma specifica, sottolineano la presenza di recettori cerebrali per i cannabinoidi, e si chiedono «per quale ragione il sistema di segnali del nostro cervello comprende un recettore per un composto prodotto da una pianta».

Curiosa domanda, questa: dove passa la barriera doganale tra l'uomo e il vegetale? Ma la domanda si complica ancora di più se la confrontiamo con quella che, a pagina 38, propone Luis Villareal: «I virus sono vivi?». La complicazione nasce in quanto una risposta plausibile richiede una ridefinizione globale del nome «vita». Ovvero, richiede che esista un'ampia gamma di stati intermedi tra ciò che è vivo e ciò che ci appare invece come materia inerte e priva di vita.

A lungo si è creduto che i virus fossero privi di caratteristiche tipicamente vitali. Ora, invece, si sta facendo strada l'ipotesi secondo cui essi potrebbero addirittura essere «la fonte principale di innovazione genetica» sul pianeta. Il che vorrebbe dire che i virus colonizzano sia i batteri, sia i vertebrati: inventando nuovi geni, inserendoli in altri organismi e, di fatto, premendo sui cambiamenti evolutivi di tutto il vivente. Un'idea, questa, che già era stata esposta dal Nobel Salvador Luria, il quale si chiedeva se, osservando i virus, non stessimo in realtà osservando le radici stesse dei processi evolutivi grazie ai quali si erano creati gli schemi genetici vincenti che stanno oggi alla base di tutte le cellule viventi. Forse, come suggerisce Villareal, il nucleo delle cellule è il risultato di un'evoluzione innescata da un virus.

Le domande sul significato di «vita» stanno insomma proliferando. Ce ne rendiamo conto leggendo le pagine di Cristina Valsecchi sulla vita sociale dei batteri. Sociale? Certo. C'è un batterio che fabbrica e usa antibiotici per eliminare altri microrganismi dalle zone da colonizzare. Utilizza molecole che svolgono funzioni linguistiche e gli permettono di dialogare con altri batteri. Ebbene, capire questi linguaggi è allora fondamentale per tutelare anche le nostre vite. Nella scala della natura, quella che abbiamo battezzato come «vita umana» non è separata dalle altre modalità vitali grazie alle quali l'intero mondo vivente, non più suddiviso in regni incomunicanti, cerca di sopravvivere sul nostro pianeta.

febbraio 2005

sommario

gli articoli

38 I virus sono vivi?
LUIS P. VILLARREAL
Anche se sfidano l'idea stessa di «vita», i virus hanno un ruolo decisivo nell'evoluzione degli organismi viventi

46 La vita sociale dei batteri
CRISTINA VALSECCHI
Considerati microrganismi solitari fino a pochi anni fa, i batteri stanno rivelando complessi sistemi di comunicazione

52 La lunga strada verso Marte
WESLEY T. HUNTRESS JR. E SIMONETTA DI PIPPO
Le eccezionali missioni di oggi sul Pianeta Rosso sono il risultato di quarant'anni di rincorsa, tra successi e clamorosi fallimenti

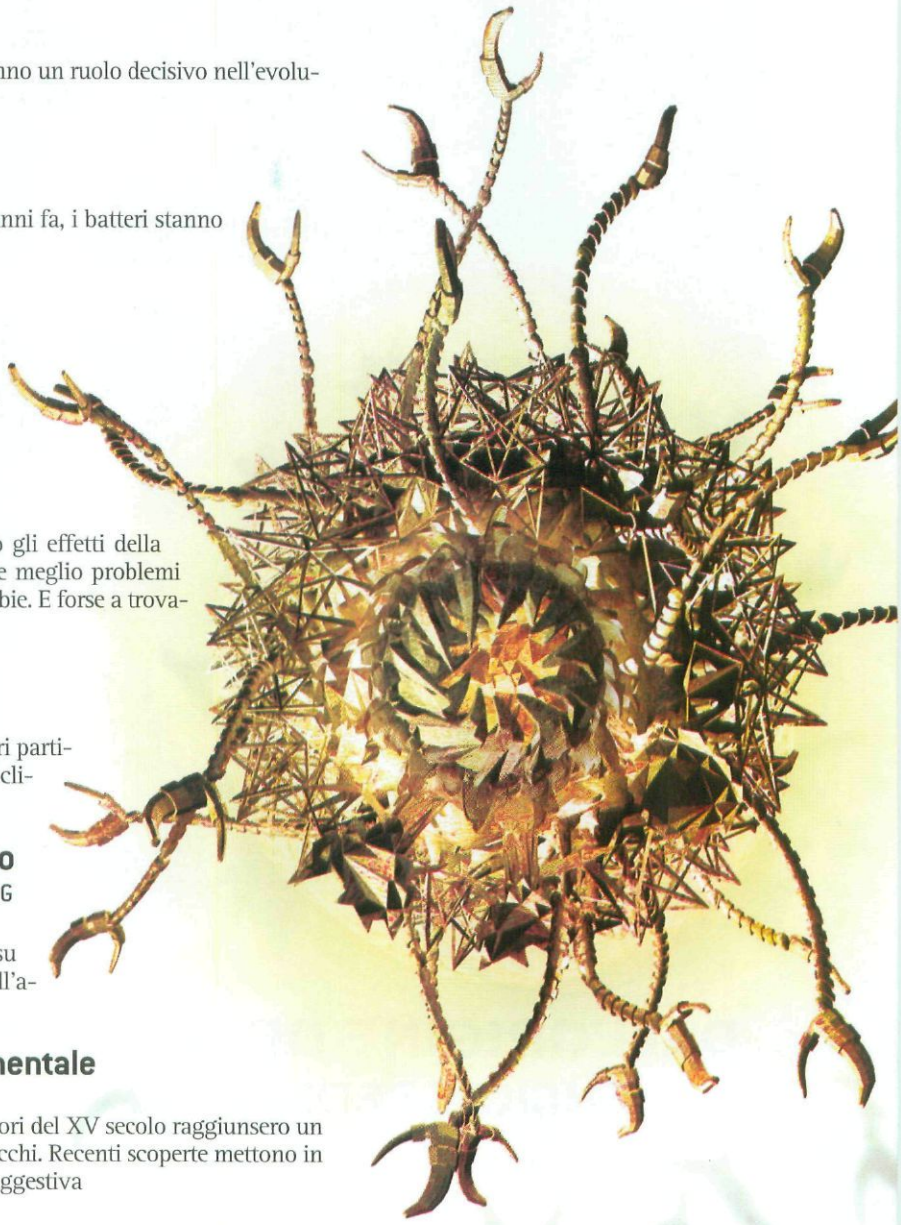
60 Neuroni stupefacenti
ROGER A. NICOLL E BRADLEY E. ALGER
Le ricerche sulle sostanze naturali che emulano gli effetti della marijuana sul cervello possono aiutarci a capire meglio problemi come il dolore, l'ansia, i disturbi alimentari e le fobie. E forse a trovare nuovi metodi per curare queste patologie

68 Dinosauri nell'Alaska
ANTHONY R. FIORILLO
Oltre 70 milioni di anni fa un gruppo di dinosauri particolarmente tenaci riuscì a prosperare nell'aspro clima di quello che oggi è l'Alaska settentrionale

76 Quando gli inglesi rubarono Nettuno
WILLIAM SHEEHAN, NICHOLAS KOLLERSTROM E CRAIG B. WAFF
Recenti indagini storiche gettano nuova luce su uno dei capitoli più appassionanti della storia dell'astronomia moderna

84 Ottica e realismo nell'arte rinascimentale
DAVID G. STORK
Una teoria molto pubblicizzata sostiene che i pittori del XV secolo raggiunsero un nuovo grado di realismo servendosi di lenti e specchi. Recenti scoperte mettono in dubbio questa tesi: proponendo un'alternativa suggestiva

92 I segreti meglio custoditi
GARY STIX
La crittografia quantistica è passata dalla teoria al laboratorio, per approdare finalmente alle applicazioni



moneybookers.com

- **Invia fondi istantaneamente**
- **Massima sicurezza online**
- **Ricevimento di pagamenti**
- **MasterCard Moneybookers**

SERVIZI DISPONIBILI

Trasferimento internazionale di denaro

Non potete accedere alla vostra banca? Non volete spendere una fortuna in costi di trasferimento e di conversione di valuta? Questa è la soluzione a basso costo per inviare e ricevere denaro nel mondo, fra familiari o amici o verso il vostro conto bancario quando siete all'estero, in oltre 40 valute.

Acquisti online

Ogni giorno sempre più commercianti accettano i pagamenti Moneybookers. Così potete pagare direttamente e in modo sicuro senza rivelare i dati del vostro conto bancario o della carta di credito. Visitate subito la nostra guida agli acquisti per vedere dove potete acquistare e scoprire straordinarie offerte esclusive.

Versamento di denaro

Un conto Moneybookers comprende già il deposito sicuro e gratuito. Effettuate versamenti e prelievi quando volete e utilizzate il vostro denaro presso tutti i vostri siti preferiti. Possiamo pensare a questo come a un borsellino online. Come tutto in Moneybookers, esso vi concede la totale libertà nel modo più semplice possibile.

Soluzioni di pagamento flessibili per la tua vita online.

Che stiate inviando o ricevendo denaro oppure effettuando pagamenti online, con Moneybookers avete bisogno solo di un indirizzo e-mail e di una password. Non c'è bisogno di inserire ogni volta tutti i vostri dati di pagamento. Aprire un conto Moneybookers richiede pochi secondi ed è assolutamente gratuito.

Come scegliete di effettuare versamenti dipende da voi. Offriamo oltre 100 opzioni locali di pagamento fra cui scegliere. Potete collegare una carta di credito o di debito, trasferire denaro e usarlo nel modo che preferite..

Per ogni operazione, i vostri dati personali rimangono al sicuro con Moneybookers, così non dovrete comunicarli a qualcuno che non conoscete. Una cosa sempre più da evitare man mano che la vostra vita online diventa più intensa.

Moneybookers libera da queste preoccupazioni.

Le soluzioni comode e flessibili che vi proteggono sempre, ovunque siate e qualunque cosa facciate.

Registrato come Company No 4260907 in Inghilterra e Galles. Ufficio registrato: Welken House, 10-11 Charterhouse Square, London, EC1M 6EH.

moneybookers.com

sommario
le rubriche

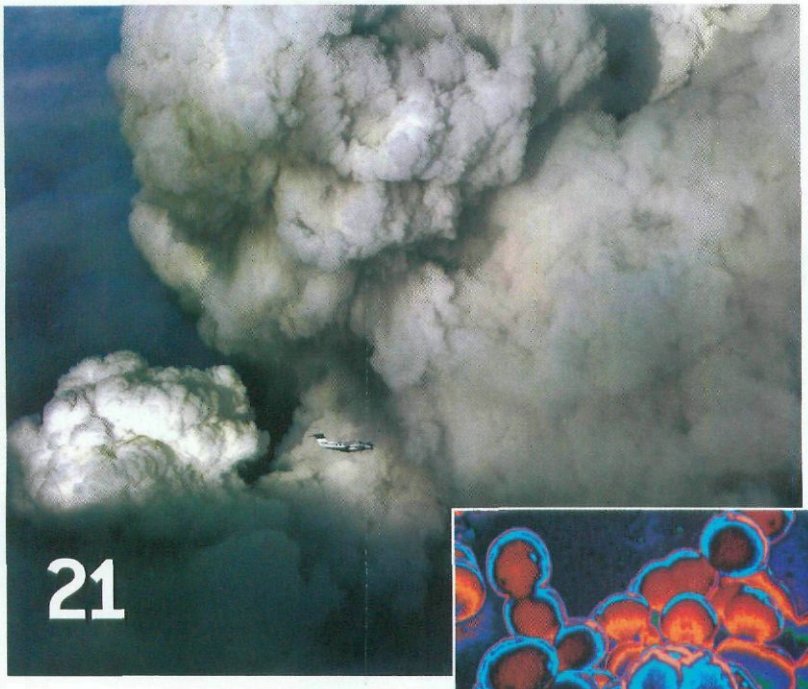
3 **Materia oscura**
di Sidney Harris

5 **Editoriale**
di Enrico Bellone

12 **Lettere**

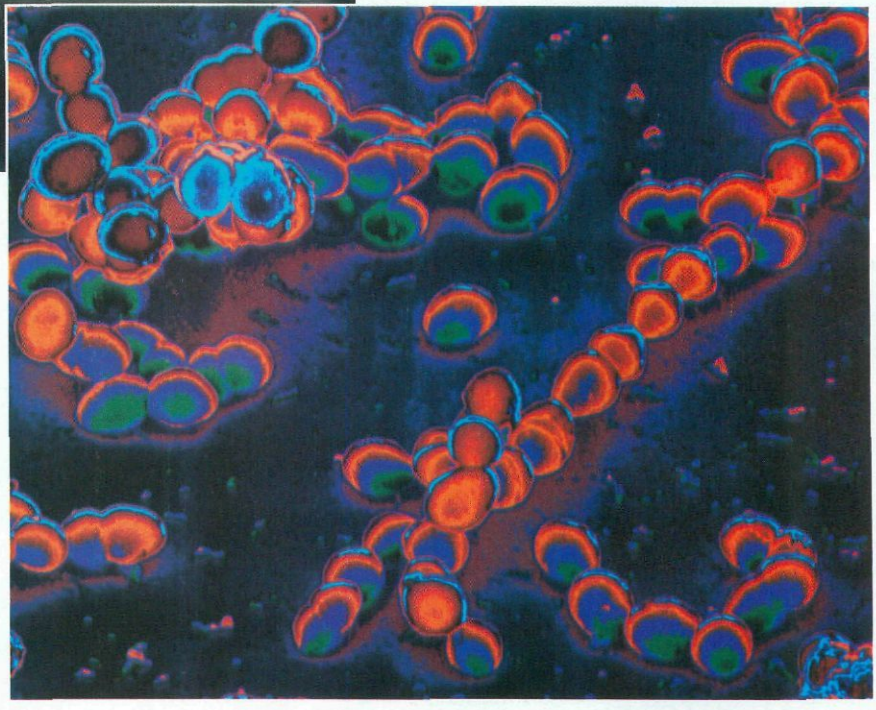
14 **L'intervista**
Le molte facce di una molecola

16 **Cronache dallo spazio**
di Giovanni Fabrizio Bignami



18 **La foto del mese**
Rottami spaziali

21 **Scienza news**
➤ Prove tecniche di evoluzione ➤ L'amminoacido che protegge l'AIDS ➤ Staminali alla prova di qualità ➤ Un cervello davvero speciale ➤ Non c'è due senza tre ➤ Occhio al vulcano ➤ I segreti delle tempie grigie ➤ Lezione di statistica a caro prezzo ➤ Batteri con il sonar ➤ Arbitri in fuorigioco ➤ L'aritmetica e la forza della parola ➤ Vulcanismo su Quaoar? ➤ A Giorgio Parisi il premio Nonino ➤ Miniere di idrogeno ➤ Sempre a caccia di ET ➤ Metano non biologico



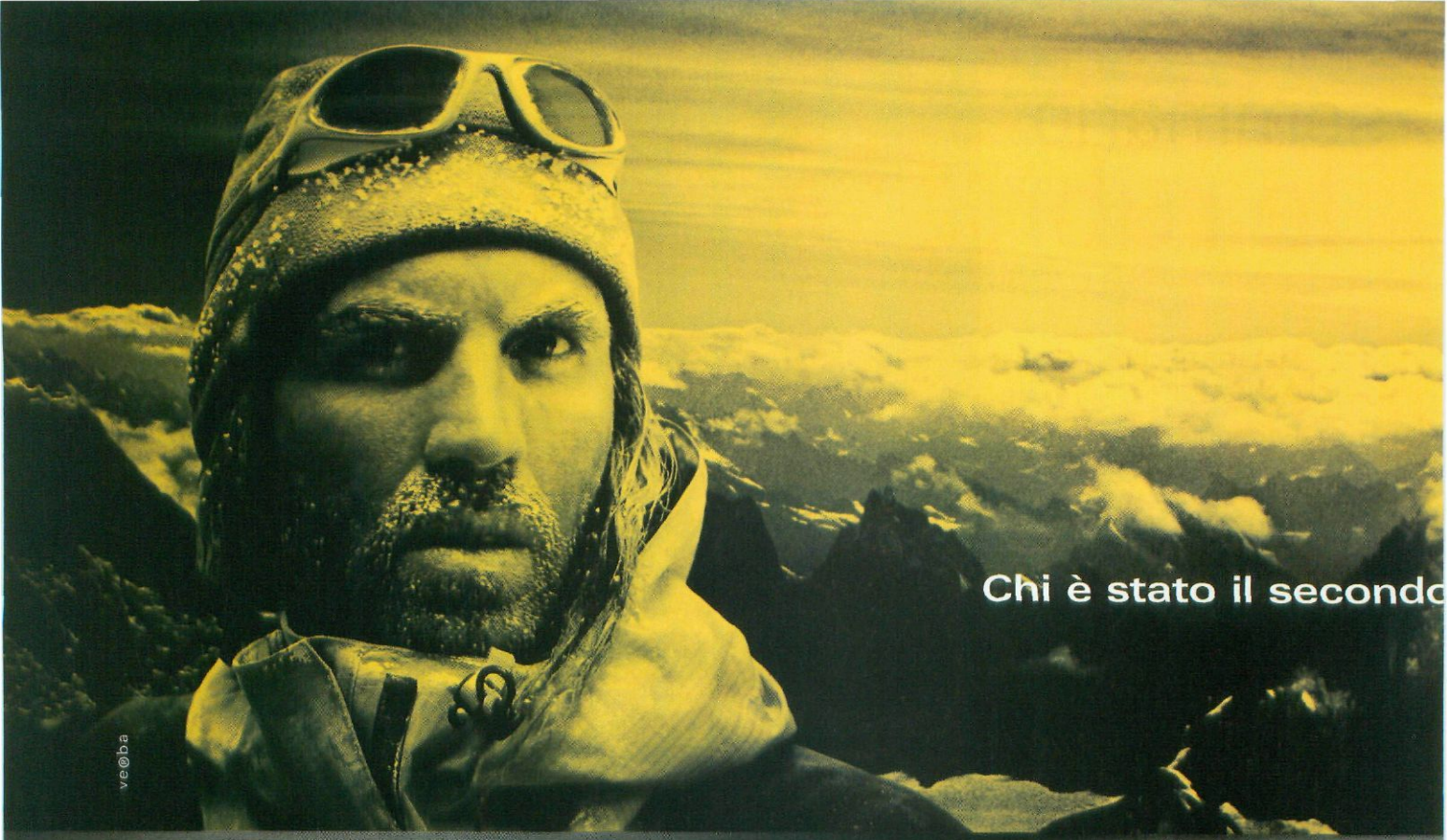
99 **Il matematico impertinente**
di Piergiorgio Odifreddi

100 **Libri e tempo libero**

102 **L'altra scienza**
Una battaglia legale per la memoria della scienza

103 **Appunti di laboratorio**
di Edoardo Boncinelli

In copertina: Brian Christie Design (*sfondo*); Victor Habbick Visions/SPL/Grazia Neri (*virus*).



Primi a produrre in serie una vettura con trazione integrale permanente quattro®: Audi.

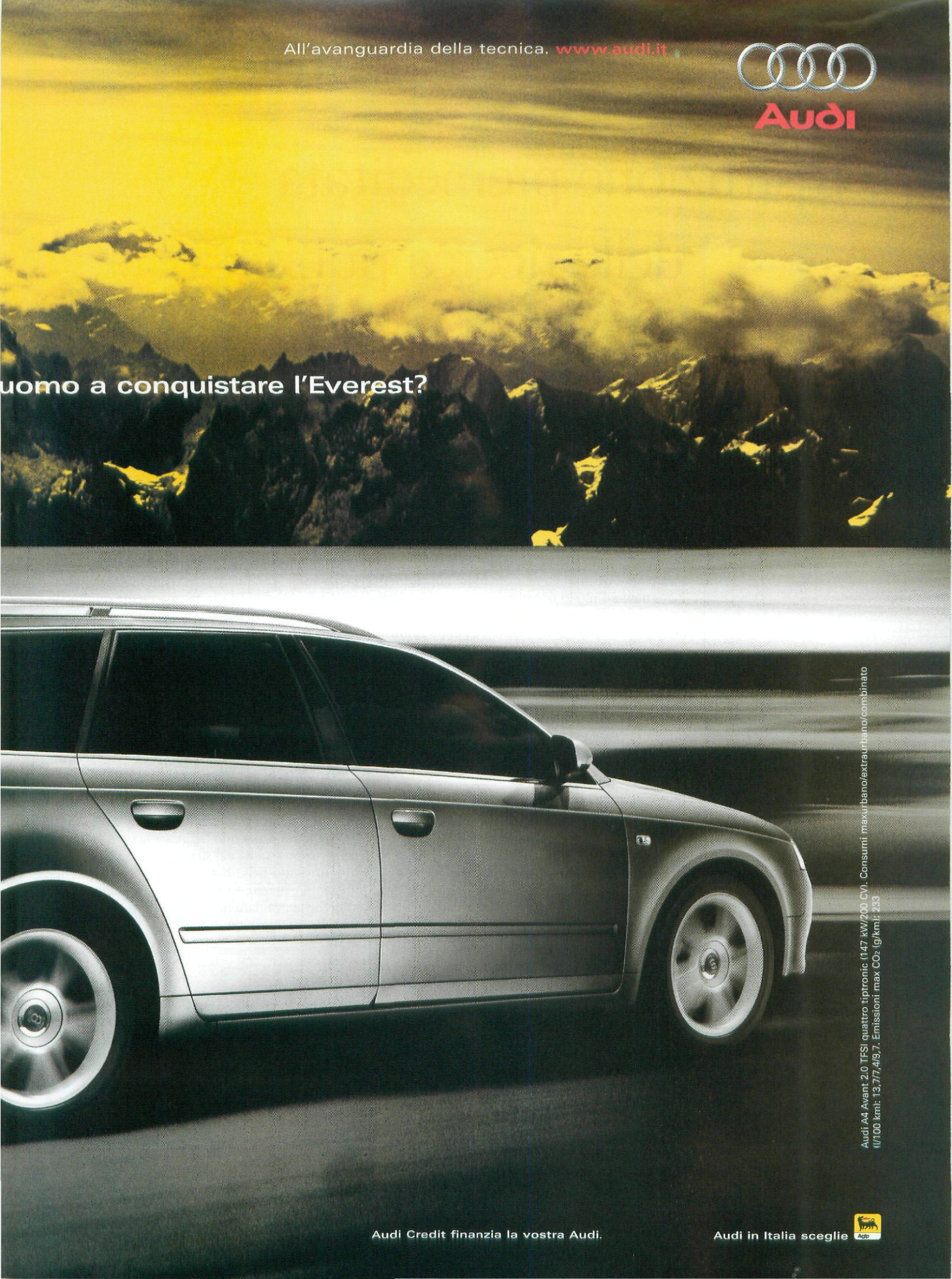
Nuova Audi A4 Avant. Puntare oltre.

Innovazione continua. E' seguendo questo pensiero che Audi ha creato e perfezionato quattro®. Il risultato? Massima trazione su qualsiasi fondo stradale e un vero piacere di guida. Una bella sfida. Vinta per primi. Dopotutto, chi si ricorda dei secondi?

All'avanguardia della tecnica. www.audi.it

Audi

uomo a conquistare l'Everest?



Audi A4 Avant 2.0 TFSI quattro tiptronic (147 kW/200 CV). Consumi max urbano/extraurbano/combinato (l/100 km): 13,7/7,4/9,7. Emissioni max CO_2 (g/km): 233

Audi Credit finanzia la vostra Audi.

Audi in Italia sceglie Agip

Distruzione premeditata della ricerca pubblica?

MARGHERITA HACK
professore emerito, Università di Trieste

Caro direttore,

la situazione dei ricercatori, sia universitari che degli enti pubblici di ricerca, incluso l'ENEA che è sempre stato misteriosamente tenuto distaccato dal Consiglio nazionale delle ricerche (CNR), se passeranno le riforme proposte da questo Governo, è destinata a peggiorare drasticamente, tanto che i ricercatori si avviano a diventare una specie in via di estinzione.

L'istituzione del ruolo dei ricercatori universitari, avvenuta con la riforma del 1982 che introduceva anche il dottorato di ricerca, permetteva ai giovani neodottori di ricerca di potere continuare il loro lavoro di ricerca con una certa tranquillità economica e di carriera, mentre i tre anni del dottorato più i tre anni come ricercatore non confermato davano modo di accertare le loro capacità. La proposta riforma che tende a eliminare il ruolo dei ricercatori sostituendolo con cinque anni a contratto a tempo determinato, rinnovabile per altri cinque anni, dopo i quali, o il contrattista vince una cattedra – il che non sempre dipende dalle sue capacità – o deve lasciare l'università. Una prospettiva certo non atta ad attrarre giovani brillanti verso la carriera universitaria, e a tornare in Italia qualora, come spesso succede, abbiano iniziato le loro ricerche in qualche istituto fuori d'Italia.

Questa situazione è destinata a impoverire le nostre università, togliendo loro quella che è la linfa che le fa vivere e progredire. È infatti statisticamente noto che le maggiori scoperte, le maggiori capacità di innovazione vengono dai giovani. Già oggi l'età media dei ricercatori è fra le più elevate in Europa, in conseguenza delle varie soluzioni di emergenza che negli anni ottanta hanno portato all'immissione ope legis o con concorsi riservati di un gran numero di ex precari, saturando i posti disponibili. Ora che si potrebbero finalmente riaprire le porte alle nuove leve, sia per difficoltà finanziarie, sia per incompetenza o programmata volontà di distruggere la ricerca universitaria, si bloccano gli accessi a tanti giovani brillanti, la cui formazione è costata al paese, e sarà destinata a essere sprecata o utilizzata all'estero.

La situazione dei ricercatori degli enti di ricerca non universitari, come il CNR, l'ISS (Istituto superiore di Sanità), l'INFN (Istituto nazionale di fisica nucleare), l'INAF (Istituto nazionale di astrofisica), non è più rosea. I ricercatori e tecnologi di questi enti pubblici di ricerca sono situati nell'area dirigenziale che garantisce la loro autonomia di ricerca. La Legge finanziaria recentemente approvata in Parlamento rischia di danneggiare gravemente questo settore, non solo con i gravi tagli che ancora si prospettano, e col blocco delle assunzioni per altri tre anni (dopo i tre precedenti), ma anche facendo nuovamente uscire i ricercatori dall'area contrattuale dirigenziale, non solo con danno economico ma anche di immagine e di valorizzazione della professione di ricercatore.

Ancora più particolare, se non unica, la situazione dell'ENEA. Nato come CNEN (Comitato nazionale per l'energia nucleare) nel 1960, nettamente staccato dal CNR, ebbe fin dall'inizio vita difficile, anche a causa delle pressioni dei produttori di petrolio, per non ricordare la vera e propria persecuzione subita dal suo segretario Felice Ippolito, arrestato nel 1964 e rimasto in carcere per due anni e mezzo, e graziato dal presidente Saragat, che aveva dato luogo per primo alla campagna di diffamazione. Nel 1982 il CNEN diventa

AVVISO AI LETTORI

Collegandosi al sito www.lescienze.it oppure telefonando al numero 199700721 è possibile acquistare:

- I numeri arretrati di «Le Scienze» a partire dal fascicolo di gennaio 2002 (n. 401). Prezzo per ciascun arretrato: euro 7,80.
- «I grandi della scienza» relativi a Darwin, Fermi, Leonardo. Prezzo per ciascun volume: euro 8,50.
- I cofanetti raccoglitori 2003 (2 semestri), 2004 (2 semestri), 2005 (2 semestri) e anonimi (senza indicazione dell'annata). Prezzo per ciascun raccoglitore: euro 7,80.

Non sono in vendita altri prodotti ancillari «Le Scienze».

Due appunti sulla sezione aurea

Gentile redazione, vi scrivo per segnalare un paio di sviste occorse nell'articolo *Variazioni: un tema aureo*, di Piergiorgio Odifreddi, pubblicato sul numero di dicembre. In alto a pagina 78 si legge che l'equazione della sezione aurea è $x + 1/x = x$. Dal testo sono probabilmente saltate delle parentesi, in quanto l'equazione esatta è $(x + 1)/x = x$, ovvero $x^2 - x - 1 = 0$. Inoltre c'è un errore nella forma delle soluzioni, che sono: $(1 + 5^{1/2})/2$ e $(1 - 5^{1/2})/2$. Un cordiale saluto

MARIO MOLINARI
Roma

In effetti, ci siamo accorti dei due errori, ma quando ormai il giornale era già in fase di stampa. Ringraziando le diverse persone che ce li hanno segnalati, ce ne scusiamo con i lettori e con l'autore.

ENEA (Ente nazionale per la ricerca e lo sviluppo dell'energia nucleare e delle energie alternative) e infine dopo il disastro di Chernobyl del 1986 e il referendum contro l'impiego dell'energia nucleare del 1987 l'ENEA mantiene il nome ma diventa Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente (1991).

Nel 1998 vengono riordinati gli enti pubblici di ricerca, ma l'ENEA non viene incluso, e questa situazione anomala porta a un crescente isolamento del personale, che a differenza dei ricercatori degli altri enti resta fuori dal comparto dirigenziale (*si veda «Le Scienze», novembre 2004, p. 10*). Dopo molte vicende alterne, la legge sull'area della dirigenza pubblica alla quale afferiscono gli enti di ricerca, comprende anche l'ENEA (Legge 145/2002) e l'art. 7 comma 4 dice: «I ricercatori degli enti pubblici di ricerca, compresi quelli dell'ENEA, sono collocati nell'area della dirigenza». Ma nonostante questa legge ancora oggi questa norma non viene applicata ai ricercatori e tecnologi dell'ENEA.

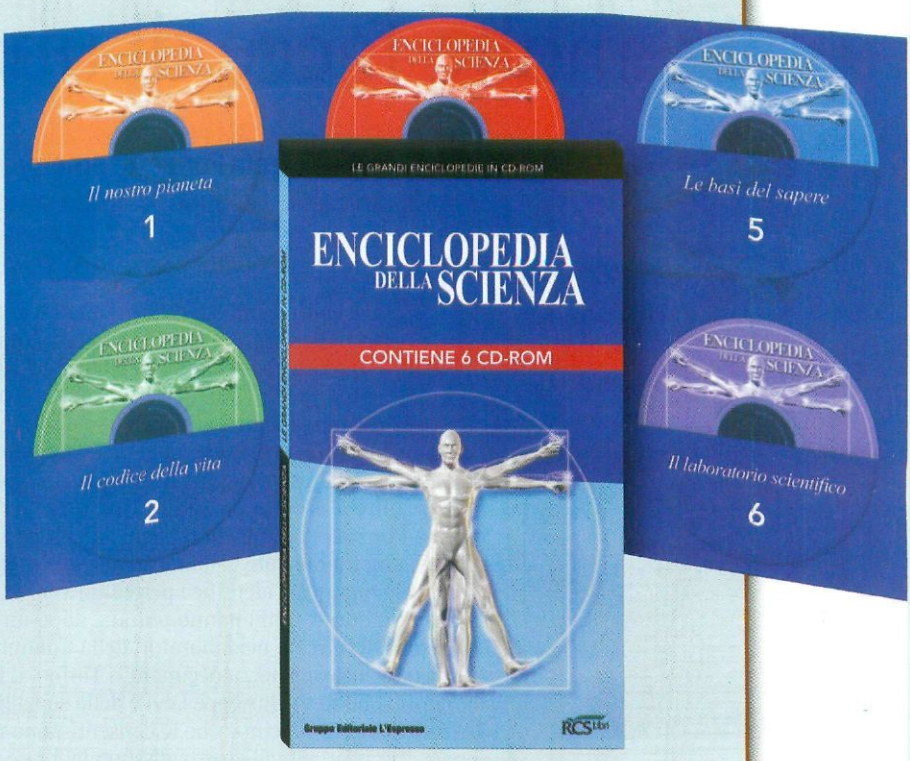
Questa situazione anomala, che fa dei ricercatori dell'ENEA dei ricercatori di serie B, a cui non è ufficialmente riconosciuta l'autonomia di ricerca, crea naturalmente disagio e scontento a tutto danno della ricerca.

Nel 1999 il premio Nobel Carlo Rubbia fu nominato presidente dell'ENEA e poi l'attuale Governo lo ha nominato commissario e poi di nuovo presidente dell'ente. È augurabile che egli possa sfruttare il prestigio che gli deriva dal massimo riconoscimento in campo internazionale per far comprendere a chi ci governa il danno che porta all'ENEA questa situazione discriminante a cui sono soggetti i ricercatori. È triste vedere la progressiva svalutazione di una parte importante della ricerca pubblica italiana, contro cui si battono accanitamente da tempo i ricercatori dell'ENEA, con manifestazioni e appelli finora inascoltati.

Ma la disuguaglianza fra ricercatori dei vari enti sarà presto sanata in negativo: tutti saranno tolti dall'area dirigenziale e la distruzione della ricerca italiana sarà completata, grazie a una classe di governo incompetente e arrogante, che fa le riforme, o meglio le controriforme, senza mai degnarsi di ascoltare gli addetti ai lavori, che si riempie la bocca di parole come necessità di incrementare la ricerca, di massima apertura al dialogo e altre menzogne ammannite a cittadini che il nostro illuminato premier ritiene al di sotto del livello degli alunni della seconda media, alunni da cui avrebbe tanto da imparare.

In conclusione dovremmo tutti renderci conto dell'enorme danno che si reca al paese tagliando i finanziamenti alle università e agli enti di ricerca, demoralizzando i ricercatori a tutti i livelli, e in particolare i giovani futuri ricercatori che vedono frustrato il loro entusiasmo per quello sviluppo della conoscenza che è fondamentale per il progresso del nostro paese, ma anche per tutta l'umanità.

ENCICLOPEDIA DELLA SCIENZA: un'occasione da non perdere



Ebbene sì, a volte gli articoli di «Le Scienze» sono un po' ostici. Soprattutto se non si ha una preparazione specifica in quella particolare materia. Per questo abbiamo pensato di offrire ai nostri lettori l'**Enciclopedia della scienza**, uno strumento che permetta di ampliare le conoscenze di base in discipline che magari non si conoscono in modo approfondito, a un prezzo più che mai accessibile: **un cofanetto di 6 Cd-Rom con 60.000 voci**, percorsi interattivi, illustrazioni e animazioni **a soli 6 euro in più rispetto alla rivista**. Attraverso percorsi guidati oppure seguendo un semplice ordine cronologico, o ancora navigando liberamente tra le voci dell'enciclopedia, potrete fare appassionanti scoperte con l'aiuto di filmati originali e spiegazioni di grande efficacia divulgativa.

Ogni Cd-Rom è dedicato a uno specifico campo della scienza: nel primo, *Il nostro pianeta*, farete un affascinante viaggio attraverso l'evoluzione della Terra, per comprenderne le origini e la storia grazie anche a un dettagliato atlante delle ere geologiche ricco di animazioni e ricostruzioni 3D. Il secondo, *Il codice della vita*, è dedicato a genetica, medicina e biologia, e il terzo – *L'uomo tecnologico* – affronta le più recenti conquiste di ingegneria e microelettronica, nanotecnologie e intelligenza artificiale. Mentre il quarto Cd-Rom, *L'universo più vicino*, vi porterà tra le stelle fino al big bang, per poi raccontarvi la storia della conquista dello spazio dai primi voli alla Stazione spaziale internazionale. Gli ultimi due Cd-Rom, *Le basi del sapere* e *Il laboratorio scientifico*, sono due preziosi strumenti di complemento a un prodotto di alta qualità, cui hanno collaborato scienziati e divulgatori di fama internazionale: il primo raccoglie in un unico contenitore tutte le voci dell'enciclopedia, il secondo è una raccolta di 20 coinvolgenti esperimenti scientifici che potrete simulare sul vostro computer: dal sismografo all'effetto tunnel, dai frattali al sistema immunitario.

L'**Enciclopedia della scienza, dalle origini del cosmo alla clonazione** sarà in edicola a **marzo**, con «Le Scienze»: approfittate di un'opportunità unica.

Le molte facce di una molecola

Dagli studi di Carola Ponzetto emerge un quadro del ruolo svolto dagli oncogeni: necessari per lo sviluppo, quando sono alterati possono indurre cancro e metastasi

di Adriana Giannini

CHI È

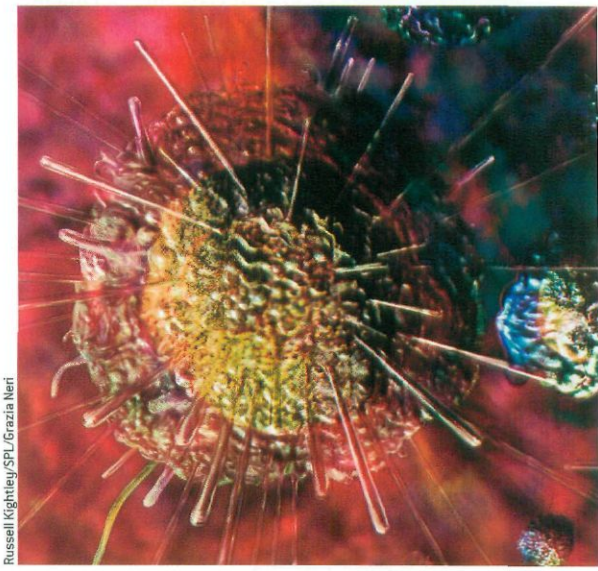
- Carola Ponzetto si è laureata in biologia all'Università di Torino. Dal 1977 al 1987 ha lavorato alla Columbia University di New York.
- Nel 1987 è rientrata in Italia dove si è dedicata allo studio dei meccanismi molecolari usati dai recettori per trasdurre nella cellula il segnale dei fattori di crescita.
- È professore ordinario all'Università di Torino, dove insegna biochimica nel corso di laurea in biotecnologie.
- Dal 2000 è membro dell'EMBO (European Molecular Biology Organization). Il suo laboratorio è affiliato al Dipartimento di anatomia, farmacologia e medicina legale dell'Università di Torino. Le sue ricerche sono sostenute da fondi ministeriali ed europei, e da AIRC e Telethon.

Ha scelto una frase di Konrad Lorenz per accogliere gli studenti nel suo laboratorio e far loro capire qual è la chiave del successo nel lavoro del ricercatore: «Non esistono condizioni ideali in cui scrivere, studiare, lavorare o riflettere, ma è solo la volontà, la passione e la testardaggine a spingere un uomo a perseguire il proprio progetto». Una frase in cui Carola Ponzetto, che alle doti citate da Lorenz aggiunge una travolgente comunicativa e un'energia fuori dal comune, si identifica perfettamente.

Proprio queste doti l'hanno portata, dopo un'esperienza decennale nei laboratori della Columbia University a New York, a occupare, a Torino, il laboratorio che fu di Giuseppe Levi e della sua allieva Rita Levi Montalcini e che le consentiranno tra breve di trasferirsi nell'attrezzatissimo laboratorio che il CeRMS/COES (Centro di ricerca in medicina sperimentale/Centro oncologico ed ematologico subalpino) sta allestendo all'interno dell'Ospedale «Molinette». Là potrà portare avanti le sue ricerche lavorando anche a stretto contatto con chi si occupa degli aspetti clinici della sperimentazione.

Nata, scientificamente parlando, come biologa, Carola Ponzetto ha perseguito, in parallelo alla ricerca sul cancro, anche studi di biologia dello sviluppo, sponsorizzati da Telethon: grazie soprattutto al suo interesse per un recettore, chiamato Met, che, oltre ad avere un elevato un potenziale oncogenico, si è rivelato responsabile, durante l'embriogenesi, di molteplici funzioni, tra cui lo sviluppo del muscolo.

«Il recettore Met – spiega Carola Ponzetto – è stato inizialmente clonato come la controparte normale di un potente oncogene. Noi abbiamo dapprima identificato nel recettore due residui di tirosina importanti per metterlo in contatto con le molecole che agiscono a valle, e abbiamo quindi prodotto topi in cui questi residui sono stati geneticamente modificati. Non si trattava di un semplice *knock-out* del recettore, ma piuttosto di un'inattivazione del meccanismo di trasduzione del segnale. In questi embrioni, tra gli altri difetti più o meno attesi, ne apparve uno che rivelò un nuovo ruolo di Met nello sviluppo: l'assenza di alcuni importanti gruppi di muscoli degli arti, della parete del corpo, del diaframma e della punta della lingua.» Questo risultato, insieme con quelli ottenuti da altri ricercatori, ha permesso di capire che Met è la molecola-chiave che fa migrare i precursori di questi muscoli fino ai vari siti di destinazione. «Ciò avviene in risposta a un segnale costituito da un fattore di crescita chiamato Scatter Factor, che ha anche un ruolo proliferativo per queste cellule, che si moltiplicano durante la migrazione, e soprattutto una volta arrivate a destinazione. Dato che rispondono a Scatter Factor in senso proliferativo e migratorio anche cellule progenitrici di altri tessuti e cellule staminali, è evidente che Met è una molecola molto interessante per i suoi effetti su questi tipi cellulari, effetti che potrebbero essere sfruttati per riparare il danno di malattie degenerative.»

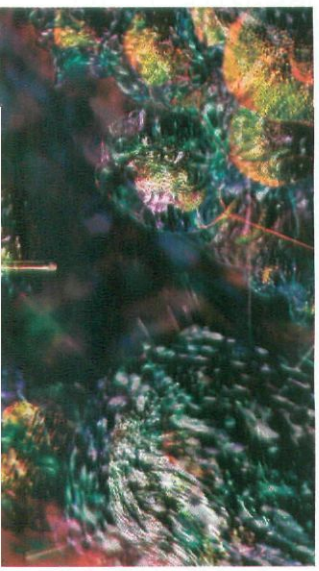


Russell Kightley/SPL/Grazia Neri

E per quanto riguarda lo sviluppo dei tumori? «Sapevamo che il recettore Met – continua la ricercatrice – come del resto altri membri della grande famiglia delle tirosinchinasi a cui appartiene, ha un forte potenziale oncogenico che emerge quando alterazioni molecolari portano a una sua attivazione continua. E non solo: la sua capacità di mediare la motilità delle cellule epiteliali può, in un contesto geneticamente deviato, favorire la transizione verso la metastasi tumorale. È noto che mutazioni del gene *Met* predispongono a un raro tipo di cancro del rene, ma si ritiene che alterazioni del suo funzionamento possano anche avere un ruolo in tumori molto più comuni. Stiamo quindi cercando di identificare quali di essi dipendano dall'attivazione di Met, per poi scegliere con cognizione di causa i pazienti che potrebbero trarre giovamento dall'uso terapeutico di suoi inibitori.»

In effetti fino a oggi le terapie d'elezione per la

cura del cancro, pur perfezionate, sono ancora quelle degli ultimi trent'anni: chirurgia, radioterapia e chemioterapia. E quest'ultima, essendo diretta contro tutte le cellule in attiva replicazione – siano esse normali o maligne – comporta effetti collaterali indesiderati e spesso dannosi. Ma presto le cose potrebbero cambiare. «Ci troviamo alle soglie di un cambiamento epocale», sottolinea Carola Ponzetto. «Gli sforzi degli ultimi decenni hanno permesso di chiarire molti dei meccanismi generali e di identificare un buon numero di molecole coinvolte nella trasformazione tumorale. Lo scenario del prossimo futuro è quello di un attacco al tumore con farmaci specifici, scelti in base alla conoscenza delle alterazioni molecolari che caratterizzano le diverse patologie. Almeno una ventina di questi farmaci "mirati" sono già in fase di sperimentazione clinica avanzata.»



Per raggiungere questo obiettivo occorrono però strutture molto più specializzate: strutture in cui clinica e ricerca possano affiancare i propri contributi. «È proprio quello che si sta facendo a Torino – spiega ancora la ricercatrice – dove all'interno dell'Ospedale "Molinette" il CERMS è stato affiancato al polo clinico, il COES. Quest'ospedale non è solo il terzo d'Italia per numero di letti, ma è anche il maggior *teaching hospital* per la Facoltà di medicina di Torino. Ogni anno alle Molinette vengono trattati 11.500 pazienti oncologici che, dal punto di vista della ricerca, sono una miniera di preziose informazioni. La vicinanza di scienziati, medici e pazienti diventa così uno stimolo ad accelerare l'applicazione dei risultati di laboratorio alla diagnosi e alla cura. Nell'ambito di questa struttura dovrebbe poi nascere un centro di diagnostica oncologica avanzata che consentirà di contribuire all'identificazione di nuovi marcatori tumorali e di elaborare il profilo molecolare del tumore da cui ogni paziente è affetto, così da rendere possibile a tutti di utilizzare al meglio i farmaci innovativi che verranno immessi sul mercato.»

Torino si porterà così al livello dei maggiori centri oncologici degli Stati Uniti, un paese che Carola Ponzetto conosce bene. «In realtà il periodo che ho trascorso negli Stati Uniti – precisa – risale agli anni ottanta. Lavoravo in una grande istituzione, la Columbia University e, anche se non ero in un laboratorio di punta, furono anni molto formativi. Tutto quello che imparai mi fu di grandissimo aiuto al mio ritorno a Torino dove, grazie a sponsor privati come Telethon e AIRC, soprattutto all'inizio, e al sostegno della Compagnia di San Paolo e della Fondazione CRT, mi fu possibile continuare a dedicarmi alla ricerca. Anche se la situazione italiana è ora un po' diversa, ritengo che tuttora un soggiorno all'estero e, in particolare negli Stati Uniti, sia sempre importante, direi indispensabile, per chi voglia intraprendere una carriera scientifica.»

A proposito di finanziamenti, proprio di recente il suo laboratorio è stato inserito in un vasto progetto europeo. «Sì – conferma la ricercatrice – insieme al laboratorio di Giorgio Inghirami dell'Università di Torino, e a quelli di Luigi Naldini del Tiget-San Raffaele di Milano e di Irene Bozzoni dell'Università "La Sapienza" di Roma rappresentiamo l'Italia nel progetto comunitario RIGHT. Si tratta di un'iniziativa che intende sviluppare la tecnologia dell'interferenza a RNA, capace di silenziare i geni alterati, come opportunità terapeutica per curare patologie come il cancro e le malattie degenerative e infettive. Partecipano al progetto 24 istituti di ricerca e l'Europa ci crede, tanto da aver investito su di esso ben 11 milioni di euro.»

I TUMORI, la loro diffusione metastatica e la difettosa migrazione di cellule nell'embrione hanno un elemento in comune: le alterazioni del recettore Met. Questa scoperta potrebbe, in futuro, contribuire a una terapia più mirata ed efficace del cancro. In alto, una rappresentazione di come le cellule cancerose possano allontanarsi dal tumore iniziale per invadere l'organismo attraverso la circolazione sanguigna. Qui a fianco, Carola Ponzetto insieme ai ricercatori e agli studenti del suo laboratorio.

Grazie degli auguri, signor Presidente

di Giovanni Fabrizio Bignami

Accademico dei Lincei, professore di astronomia all'Università di Pavia. Direttore del Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements del CNRS, Tolosa, Francia

Grazie, signor Presidente, per aver menzionato nel messaggio di buon anno «fisica, astronomia e aerospaziale» tra i risultati positivi degli italiani. Il passaggio è sfuggito a molti commentatori, più attenti alle gravi contorsioni politiche del paese. Significativa, invece, l'attenzione del Presidente della Repubblica, anche perché in emozionante contrasto con la pervicace distruttività del Governo nei confronti delle strutture della ricerca.

Dopo il dramma dell'Agenzia spaziale italiana, accennato il mese scorso, si registra nella blindatura della finanziaria un declassamento dei ricercatori fuori dal ruolo dirigenziale, con grave danno per loro e con beneficio nullo per il paese. In più, il blocco delle assunzioni negli enti di ricerca.

Enrico Oliverio/AP Photo

Certo, i forestali calabresi sono più bravi dei ricercatori a farsi difendere: sento dire (comunicato ANPRI) che il Ministro dà la colpa ai presidenti degli enti (da lei appena nominati...). Se fosse vero, sarebbe proprio brutto. Richiederebbe, a posteriori, un'antipatica aggiunta alle parole di Ciampi: «nonostante tutto». E, in realtà, è proprio così: nonostante tutto, quest'anno i risultati di Mars Express sull'esplorazione di Marte sono, naturalmente insieme a quelli NASA, al primo posto della classifica di «Science» tra i *top ten* del 2004. Ricordo, a questo proposito, lo splendido lavoro del gruppo di Vittorio Formisano sull'atmosfera di Marte. Nella *hit parade* di «Science» c'è anche Marta Burgay (e colleghi), per la scoperta di un nuovo spettacolare sistema binario di stelle di neutroni pulsanti. Insomma, nonostante tutto gli italiani ci sono.

Merita un commento la variegata scelta dei dieci migliori risultati scientifici, ottenuta, come è noto, per plebiscito popolare. Essa dimostra che gli scienziati sono ben capaci di misurare il valore relativo, oltre che assoluto, dei loro risultati, anche attraverso discipline diversissime. Ed è una risposta al MIUR che in pubblico, anzi in Europa, sostiene il contrario, ancora una volta con grave danno per gli scienziati italiani. Sostiene il burocratese del MIUR che «il criterio dell'eccellenza... può essere usato per scegliere tra progetti della stessa area scientifica, ma non fra progetti che si riferiscano ad aree distinte». «Science», interpellando la comunità, dimostra proprio il contrario. Nel merito, sarebbe poi interessante fare una breve statistica sugli ultimi dieci anni di «Science» e quindi su cento risultati scelti dalla comunità scientifica. Credo proprio che i (non molti) italiani citati siano in maggioranza di astrofisica, magari spaziale.

Alla NASA, nel frattempo, cambio di vertice. L'amministratore O'Keefe ha dato la dimissioni, con una lettera pubblicata on line. Scrive che il primo dei suoi figli sta per andare all'università, e lui «non può permetterselo, se resta nel servizio pubblico». L'amministratore NASA guadagna, mi pare, *130.000 dollari l'anno*: la cifra è, naturalmente, pubblica. Non è molto (credo assai meno dell'attuale presidente ASI, ma forse mi sbaglio), ma comunque tutti gli altri alla NASA guadagnano meno di lui. Lavoro con colleghi NASA dal 1973 e ho visto molti dei loro figli andare all'Università: chissà come avranno fatto.

Resta da capire che cosa abbia spinto O'Keefe a questa incredibile lettera pubblica, ma, senza tante dietrologie, non credo sia particolarmente contento di lasciare l'incarico. Direi che lo fa capire, forse senza rendersi conto di non rendere un gran servizio al sistema educativo americano: se il capo della NASA non può mandare i figli all'università... Comunque, auguri a Sean per il suo nuovo incarico all'Università della Louisiana, dove si parla di mezzo milione all'anno. Siamo qui a chiederci chi sarà il prossimo: molto dipenderà dalla sua personalità e dalle sue scelte. Si sente il nome di un generale (come in Russia), o di un astronauta: dovrà, per prima cosa, riuscire a far volare di nuovo gli shuttle. Auguri anche a lui.

Ogilvy&Mather

N° 3

NELLA TOP TEN DELLE

COSE DA ASSAGGIARE ASSOLUTAMENTE

Numero 5: una birra stout a Dublino.
Numero 4: una mousse au chocolat al Tour d'Argent di Parigi.
Numero 3: il primo fiocco di neve dell'anno sulla Fifth Avenue a Manhattan.
Le esperienze più gratificanti della vita puoi assaporarle in qualunque momento, se hai con te una Carta American Express* e sei iscritto al Club Membership Rewards.®
Perché ogni volta che usi la Carta,
guadagni punti che puoi trasformare in viaggi per le destinazioni che ti interessano di più.
Con un programma premi così ricco, tutto ciò che devi fare è scegliere.

Sei già Titolare? Visita www.americanexpress.it/sogni o chiama **800.131.141** per richiedere la Carta

PERCHÉ LA VITA È PIENA DI SOGNI DA REALIZZARE

The Empire State Building image is a registered trademark of ESBC.LLC
*SOGGETTO A TERMINI E CONDIZIONI DEL REGOLAMENTO CARTA E CLUB MEMBERSHIP REWARDS

Rottami spaziali

Jonas Bendiksen/Magnum/Contrasto

RAGAZZI DI UN VILLAGGIO DELL'ALTAI raccolgono rottami metallici di un razzo ricaduto sulla regione dopo il lancio dal cosmodromo di Baikonur in un irreale scenario primaverile punteggiato da migliaia di farfalle. Secondo uno studio esaminato da «Nature», lo spray di propellente tossico incombusto sulla regione provocherebbe malattie nella popolazione.

I razzi lanciati dal cosmodromo di Baikonur, in Kazakhstan, potrebbero provocare gravi disturbi nella popolazione che vive nelle vicinanze. Per ora ad affermarlo è uno studio epidemiologico preliminare e non pubblicato, esaminato dagli esperti di «Nature», ma se fosse confermato potrebbe comportare serie conseguenze per i programmi di lancio del prossimo futuro.

Secondo Sergey Zykov, del Centro di virologia e biotecnologie di Novosibirsk, dagli stadi esausti dei vettori russi si liberano, sotto forma di spray disperso sulla regione, decine di litri di propellente incombusto. E in particolare dimetilidrazina, un composto altamente tossico che può inquinare il suolo e le falde acquifere. «Un cucchiaio di idrazina – ha commentato su «Nature» Fabio Caramelli, del centro ESA di Noordwijk, in Olanda – diluito nell'acqua di una piscina ucciderebbe chiunque provasse a berne un sorso.»

Dopo l'allarme lanciato dalle associazioni ambientaliste, il lavoro di Zykov e colleghi si è concentrato su mille bambini provenienti dalle aree inquinate dai combustibili dei vettori russi, confrontati con altri 330 bambini kazaki che abitano in territori non inquinati. L'incidenza di alcune malattie ematiche e del sistema endocrino si è dimostrata più che doppia nei bambini dell'Altai, la repubblica più colpita dai detriti dei lanci, rispetto al gruppo di controllo. E anche i tempi di recupero, una volta che i piccoli pazienti erano sottoposti a terapia, risultavano nettamente più lunghi.

Per bocca del suo portavoce Vyacheslav Davidenko, Rosaviakosmos – l'Agenzia spaziale russa – ha negato che vi possano essere problemi di salute per le popolazioni locali, costantemente monitorate da esperti dell'agenzia, pur ammettendo il grave inquinamento della regione. Ma gli abitanti, si è affrettato ad aggiungere Davidenko, ricevono un indennizzo per questo «inconveniente».

Per ora il settimanale britannico affronta l'argomento con cautela, e lo stesso Zykov ammette che per trarre conclusioni definitive è necessario uno studio più ampio. Ma l'allarme resta. Da quando la NASA ha sospeso i voli degli shuttle dopo l'incidente del Columbia del 1° febbraio 2003, tutte le missioni della Stazione spaziale internazionale sono affidate alle Soyuz, che partono da Baikonur. E né la NASA né l'ESA – che ha più volte «noleggiato» il cosmodromo kazako per i suoi lanci – vogliono assumersi la responsabilità di problemi connessi con la sicurezza del sito. Le basi di lancio di Cape Canaveral e Kourou, d'altra parte, sono rivolte verso l'Atlantico, e i loro eventuali detriti non potrebbero essere un pericolo per la popolazione.

Alla NASA ammettono di essere a conoscenza di gravi problemi ambientali, ma aggiungono che l'agenzia russa ha fatto notevoli progressi nel ridurre la quantità di combustibile riversata al suolo dai razzi esausti. Certo, se dovessero emergere nuove prove la situazione si farebbe pesante, mettendo a rischio buona parte del settore aerospaziale, i milionari profitti di Rosaviakosmos e, da ultimo, la *sopravvivenza* stessa della Stazione spaziale.

MARCO CATTANEO

UN GRANDE SUCCESSO

La rivista di psicologia e neuroscienze

Sul numero di **GENNAIO-FEBBRAIO** di "Mente & Cervello", una sezione speciale dedicata a:

NELLA GIUNGLA DEI TEST

Dall'orientamento scolastico ai colloqui di assunzione, test e questionari per scoprire il nostro carattere e le nostre inclinazioni sono sempre più utilizzati. Ma fino a che punto è bene affidarsi a un test per scelte che influiscono in modo decisivo sulla nostra vita?

E inoltre:

C'ERA UNA VOLTA - Come le favole ci aiutano a costruire la nostra vita emotiva.

SULLE TRACCE DI AFRODITE - Perché l'idea di bellezza non è solo una questione di gusti.

LA CULTURA DEL SOSPETTO - Qual è la logica delle teorie del complotto, e perché hanno tanto successo?

IN UN MONDO DI SOSIA - Perché alcune persone non riconoscono più i familiari.

in tutte le edicole

Prove tecniche di evoluzione

La selezione naturale è ancora all'opera sul genoma umano

In genere si parla dell'evoluzione come se si trattasse di un processo ormai concluso. Ma la selezione naturale è ancora in corso: e lo è anche per la specie umana, come dimostra una ricerca pubblicata sul numero di febbraio di «Nature Genetics». La scoperta si deve ai ricercatori della DeCode Genetics, l'azienda biofarmaceutica islandese collocatasi in prima linea nello studio della genetica di popolazione grazie alla controversa scelta del governo dell'Islanda di consentire a un'azienda privata un monitoraggio del patrimonio genetico degli abitanti dell'isola, vissuti per lungo tempo in un isolamento pressoché totale. Fino a oggi, la DeCode ha raccolto il materiale genetico di oltre 100.000 individui – volontari, specifica l'azienda – ossia circa la metà della popolazione adulta del paese.

Proprio grazie alla quantità di informazioni in loro possesso, i ricercatori guidati da Augustine Kong hanno scoperto che una particolare variante genetica, un'inversione cromosomica che riguarda in questo caso il cromosoma 17q21.31, pur essendo particolarmente rara a livello mondiale è presente in alcune popolazioni europee con una frequenza del 20 per cento. In Islanda – ossia nell'unico luogo per cui al momento è disponibile materiale genetico sufficiente per verificare questo dato – questa variante sembra avere un effetto positivo sulla fertilità. Effetto che non può essere spiegato solo con il fatto che essa sembra coincidere con un più alto tasso di ricombinazione genetica, ossia del rimescolamento di materiale cromosomico che si verifica durante la formazione di spermatozoi e ovociti, fattore che proprio i ricercatori della DeCode hanno recentemente collegato con un aumento della fertilità.

«Anche se oggi sono generalmente considerate dannose per la sopravvivenza – sottolineano Kong e colleghi – varianti di questo tipo hanno un ruolo molto importante a livello evolutivo, e sono responsabili della maggiori parte delle differenze tra noi e gli altri primati». E in questo caso sembrano raccontare una storia di selezione positiva, con un incremento delle nascite che per quanto esiguo in termini statistici – pari al 3,2 per cento nel gruppo delle donne portatrici della variante rispetto alle loro connazionali – è comunque abbastanza ampio da avere conseguenze rilevanti su una scala temporale più ampia.

Senza contare che lo studio islandese potrebbe anche fornire nuove informazioni sulla storia evolutiva della nostra specie: le due diverse varianti, chiamate H1 e H2, sembrano infatti essere presenti e separate da almeno tre milioni di anni, il che porterebbe a predatare la comparsa di *Homo Sapiens*, e forse addirittura quella del genere *Homo*, oggi fissata intorno a 2,5 milioni di anni fa.

PAOLA EMILIA CICERONE

Ap Photo

GENOMA IN EVOLUZIONE. Lo studio del patrimonio genetico degli islandesi rivela l'opera della selezione naturale ancora in corso sul DNA umano. Nella foto, bagnanti in una laguna riscaldata dal calore di un'area geotermale, nel sud ovest dell'Islanda.

NEWS

L'amminoacido che protegge l'AIDS

Individuato studiando un gene delle scimmie rhesus

Un singolo amminoacido può fare la differenza tra la vita e la morte se si viene in contatto con l'HIV. L'hanno scoperto i ricercatori del National Institute for Medical Research (NIMR) di Londra studiando la versione di un gene, presente nelle scimmie rhesus, che a differenza di quella posseduta dall'uomo evita il propagarsi dell'infezione del virus.

Ap Photo/Oregon Health & Science University

Alla base del meccanismo vi sono i fattori di restrizione retrovirale, proteine cellulari che interferiscono con la replicazione dei retrovirus nella fase del loro ciclo vitale successiva alla penetrazione nella cellula ospite, ma precedente all'integrazione del materiale genetico nel nucleo. L'attività di restrizione fu descritta per la prima volta nel 1970 da Frank Lilly a proposito di un gene del topo che, nelle sue diverse versioni, è in grado di restringere differenti virus della leucemia murina. Nelle ricerche su altri mammiferi si sono rivelati efficaci anche altri due fattori di restrizione, codificati da uno stesso gene, chiamato Trim5α, che inibisce la replicazione retrovirale in modo specie-specifico. E proprio la comprensione delle differenze esistenti in tale gene tra scimmie rhesus e uomo è stato l'obiettivo della ricerca di Melvyn Yap, Sébastien Nisole e Jonathan Stoye il cui resoconto è pubblicato sull'ultimo numero di «Current Biology».

Si è così potuto dimostrare non solo che le varianti riguardano uno specifico dominio del gene, ma anche che la sostituzione di un singolo aminoacido nel gene umano è sufficiente a conferire la capacità di restrizione nei confronti dell'HIV-1.

Una strada aperta per la terapia genica dell'AIDS, dunque? «In teoria – spiega Stoye – sarebbe possibile estrarre da un paziente cellule infettate dall'HIV, renderle resistenti al virus con un gene modificato e quindi reintrodurle nell'organismo. Queste stesse cellule dovrebbero riuscire a bloccare la progressione dell'AIDS.»

Se quest'ipotesi si trasformerà in un'efficace possibilità terapeutica è presto per dirlo, ma le ricerche proseguiranno in questa direzione. L'unica certezza è che, nell'immediato, le armi terapeutiche per il controllo del contagio e della progressione della malattia restano quelle convenzionali.

FOLCO CLAUDI

FLASH

• I segnali visivi, per esempio l'espressione del volto, accelerano il modo in cui il cervello elabora **il suono delle parole**, riducendo le possibili interpretazioni dello stimolo sonoro.
«PNAS», 10 gennaio

• Uno studio europeo su 285.526 donne tra i 25 e i 70 anni non ha rilevato alcuna associazione significativa tra il **consumo regolare di frutta e verdure** e una riduzione del **rischio di tumore al seno.**
«JAMA», 11 gennaio

• L'**esposizione al radon** tra le mura domestiche è responsabile di una percentuale significativa dei decessi legati al **tumore ai polmoni**, pari a circa 20.000 morti all'anno in Europa, ma il rischio appare maggiore per i fumatori.
«British Medical Journal», 21 dicembre 2004

Staminali alla prova di qualità

Tra i vari «prodigi» delle cellule staminali embrionali uno in particolare era avvolto dal mistero. Che cosa impedisce alle staminali embrionali con DNA danneggiato di dividersi e quindi non trasmettere alle cellule figlie il proprio difetto genetico? La risposta arriva ora da «Nature Cell Biology», dove alcuni biologi dell'Università della California a San Diego guidati da Yang Xu riferiscono che danni genetici indotti nelle staminali embrionali di topo alzano il livello di una proteina (la p53), spegnendo particolari geni (Nanog) necessari per la replicazione. Gabriella Sozzi, che dirige l'Unità operativa di genetica molecolare all'Istituto Tumori di Milano, spiega: «La p53 è una proteina ben conosciuta che controlla tre funzioni fondamentali delle cellule: divisione, morte cellulare e riparazione del DNA. Se attivata in risposta a un evento che danneggia il DNA, blocca la replicazione e determina l'apoptosi della cellula, cioè la sua morte.» Stando ai risultati di Yang Xu si scopre che la p53 avrebbe un ruolo fondamentale anche nella differenziazione delle cellule staminali embrionali. «Trattando queste cellule con agenti che

Un cervello davvero speciale

Uno studio conferma l'eccezionalità dello sviluppo cerebrale umano

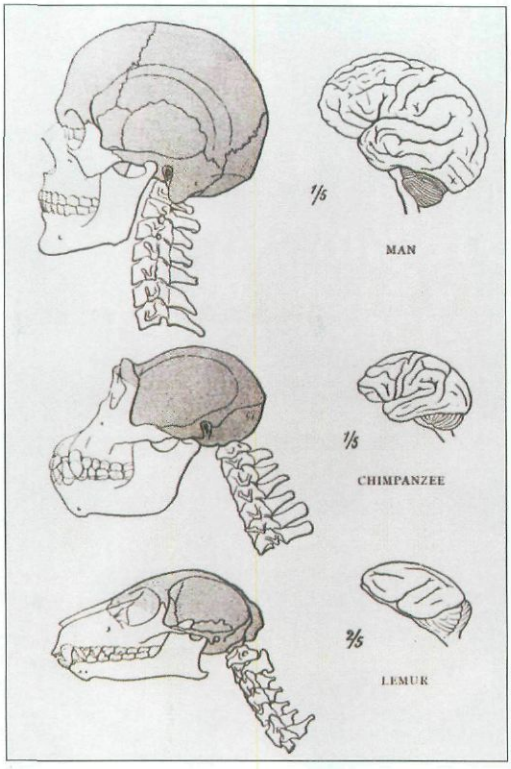
"Biologi, antropologi e sociologi si chiedono da tempo se l'evoluzione del cervello umano possa essere considerata un evento speciale. I nostri risultati dicono di sì». A parlare è Bruce Lahn, uno degli autori di uno studio pubblicato su «Cell» in cui si dimostra che i geni coinvolti nello sviluppo e nel funzionamento cerebrale dell'uomo si sono evoluti molto più rapidamente che negli altri mammiferi, primati non umani compresi. Una rapidità evolutiva che, secondo i ricercatori, costituisce la base molecolare dell'eccezionale aumento di dimensioni e di complessità del cervello che ha caratterizzato l'evoluzione umana, e che rappresenta il frutto di un processo di selezione naturale praticamente unico.

Lahn e i suoi collaboratori dell'Howard Hughes Medical Institute di Chicago hanno esaminato la variazione nel tempo delle sequenze di 214 geni per la regolazione dello sviluppo e dell'attività cerebrale in quattro diverse specie: due primati (uomo e macaco) e due roditori (ratto e topo). Dal confronto è emerso che, in media, i geni analizzati si sono evoluti molto più rapidamente nei primati che nei roditori e molto più rapidamente nella linea evolutiva dell'uomo che in quella dei macachi.

I ricercatori hanno stilato una classifica dei 20 geni di primati che nel tempo hanno subito più cambiamenti. Si tratta, per la maggior parte, di sequenze coinvolte nella regolazione delle dimensioni cerebrali e nella modulazione del comportamento, a sottolineare che questi due aspetti hanno rappresentato i bersagli preferenziali su cui ha agito la selezione naturale.

Resta da chiarire perché la pressione verso cervelli più grandi e complessi sia stata maggiore nella linea evolutiva dell'uomo. «Forse» commenta Lahn «sono stati i comportamenti culturali e la struttura della società ad aver stimolato la rapida evoluzione del cervello. Via via che i nostri progenitori diventavano più sociali, per esempio, diversi livelli di intelligenza potevano tradursi in grandi differenze nella probabilità di sopravvivenza, poiché si potevano manipolare a proprio vantaggio intere strutture sociali».

VALENTINA MURELLI



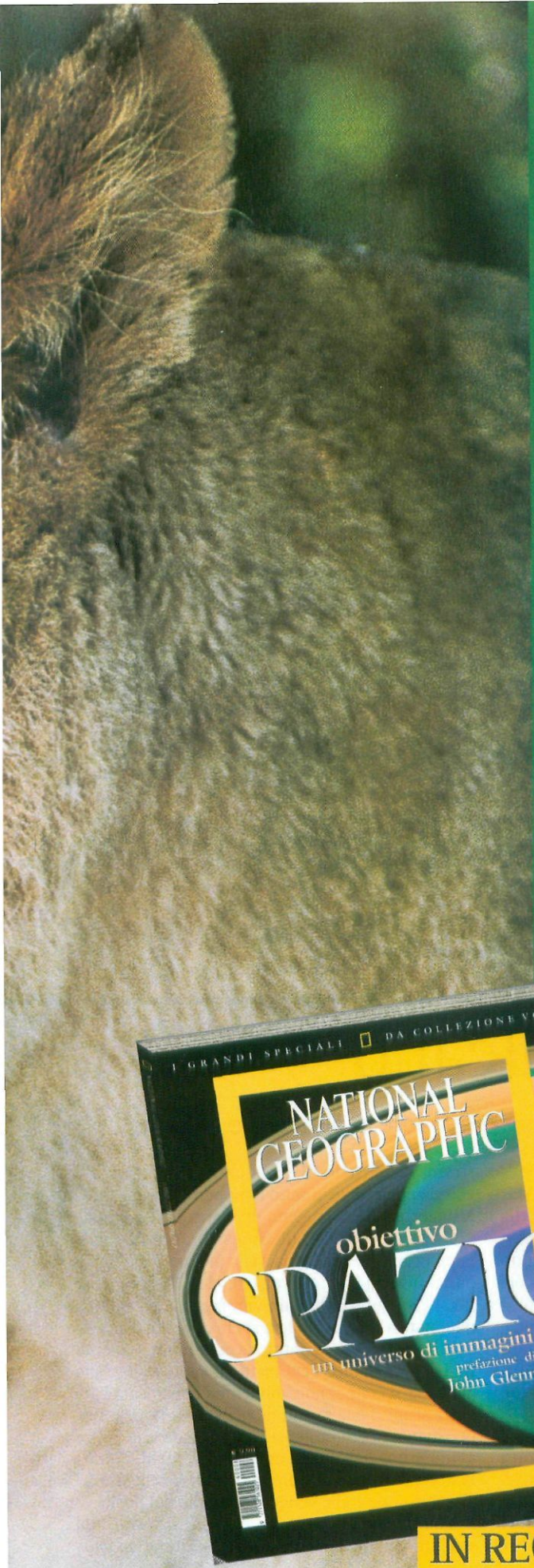
SPL/Grazia Neri

LE DIMENSIONI DEL CERVELLO in tre primati – uomo, scimpanzé e lemure – in un'illustrazione storica. Una ricerca pubblicata da «Cell» conferma che l'evoluzione del cervello nella nostra specie è stata molto più rapida che negli altri mammiferi, primati non umani compresi.

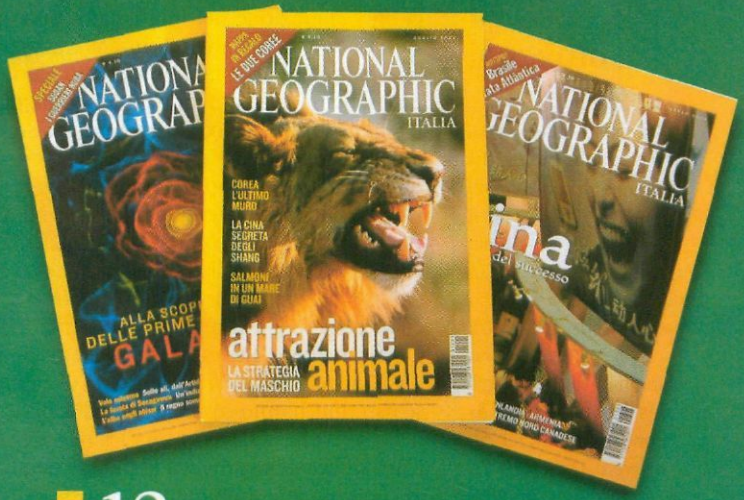
provocano un danno al DNA – dice Gabriella Sozzi – i ricercatori hanno visto che la p53 raggiungeva livelli molto alti e che, in concomitanza, un gene chiamato Nanog veniva spento». Durante lo sviluppo, Nanog resta attivo regolando altri geni importanti per la crescita e si spegne quando la cellula raggiunge la maturità. Nelle staminali embrionali questo gene inibisce la differenziazione, cioè fa sì che le cellule rimangano potenzialmente in grado di dare origine alle differenti linee cellulari presenti in un adulto. «Una volta che il gene è spento dalla p53 – prosegue la ricercatrice – la cellula perde il carattere di staminalità, si differenzia e nel tempo va incontro all'apoptosi». Insomma, grazie a questo meccanismo le cellule staminali possono autorinnovarsi, dando luogo a illimitate divisioni cellulari per produrre cellule figlie sane. Sozzi conclude: «Questi risultati sono molto importanti dal punto di vista teorico perché spiegano il meccanismo che controlla la stabilità genetica delle cellule staminali. Ma la loro importanza riguarda anche le possibili applicazioni terapeutiche. Nel futuro, per curare diversi tipi di malattie, compresi i tumori, potremo usare le staminali con molta più sicurezza grazie a una migliore conoscenza del loro comportamento».

LUCA SCIORTINO

NATIONAL
GEOGRAPHIC
Regala o regalati
l'abbonamento
a National
Geographic.
Per te
uno splendido regalo
per esplorare
i misteri
dello spazio.

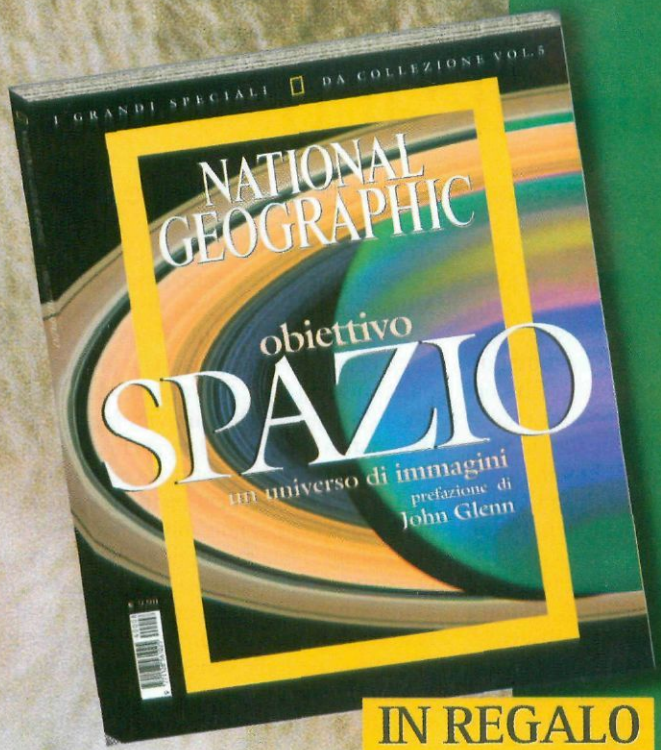


Ogni mese National Geographic apre una nuova finestra sul mondo, con reportage fotografici sempre sorprendenti e articoli accurati e avvincenti, per scoprire i segreti del nostro pianeta e ammirare gli spettacoli offerti dalla natura e dall'ingegno dell'uomo. Chi decide di regalare un abbonamento a National Geographic non dovrà preoccuparsi di nulla: una apposita lettera informerà il destinatario del dono.



12 *straordinari numeri* di National Geographic a **39 euro** ~~anziché 49,20~~

in più, per chi sottoscrive o regala un abbonamento, uno *splendido regalo* per esplorare i misteri dello spazio: il magnifico volume da collezione *Obiettivo SPAZIO*



IN REGALO

Da Yuri Gagarin, primo uomo nello spazio, alle scoperte su Marte e Saturno, questo speciale volume da collezione di NATIONAL GEOGRAPHIC ti catapulterà negli abissi siderali e ti farà ripercorrere tutte le tappe dell'esplorazione spaziale attraverso spettacolari immagini storiche e recentissime fotografie, frutto delle più moderne tecnologie. Un viaggio fantastico in 126 pagine verso le nuove avventure che potrebbero ridisegnare il nostro futuro.

NEWS

La terza area del linguaggio

È una regione cerebrale che connette le aree di Broca e di Wernicke

Per molto tempo si è ritenuto che uno dei più complessi eventi mentali, cioè la generazione del linguaggio, fosse legato a due sole aree cerebrali interconnesse tra loro. Una regione del lobo frontale sinistro, l'area di Broca, avrebbe svolto un ruolo di primo piano nella produzione dell'eloquio, mentre una seconda regione, l'area di Wernicke, sita nella circonvoluzione superiore del lobo temporale sinistro, sarebbe stata implicata nella comprensione del linguaggio. Questo modello, elaborato alla fine del XIX secolo, era basato sullo studio di pazienti che a seguito di danni localizzati a una delle componenti del circuito cerebrale sviluppavano specifici deficit linguistici o afasie. Per esempio, soggetti con un danno all'area di Broca sono in grado di capire un discorso, ma hanno grandi difficoltà nel parlare e nello scrivere. Viceversa una lesione a carico dell'area di Wenicke provoca la perdita della capacità di comprendere il linguaggio, ma sia l'eloquio sia la scrittura rimangono fluenti.

Ma non tutti i casi clinici potevano essere spiegati con tale modello, e dopo più di cento anni l'équipe di Marco Catani dell'Istituto di psichiatria del King's College di Londra ha forse trovato il tassello mancante del mosaico linguistico. Sfruttando una recente tecnica chiamata risonanza magnetica a tensore di diffusione, i ricercatori sono riusciti a visualizzare il corso delle fibre nervose che connettono l'area di Broca a quella di Wernicke. E con loro sorpresa hanno scoperto che oltre ad avere un legame diretto le due aree sono connesse anche da un circuito parallelo che passa da una stazione intermedia, sita nel lobulo parietale inferiore. La nuova area è stata battezzata «territorio di Geschwind», in onore del neurologo americano che ne aveva sospettato il ruolo alla fine degli anni sessanta.

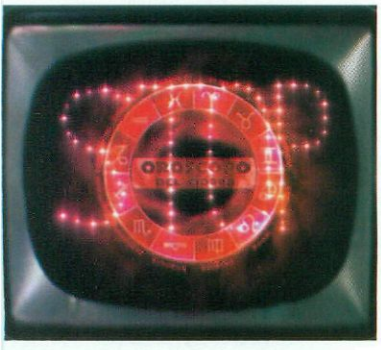
Le due vie svolgerebbero compiti complementari. Il circuito indiretto sarebbe implicato nell'elaborazione semantica del linguaggio (ovvero nella comprensione e nella vocalizzazione del concetto di una parola), mentre il circuito diretto sarebbe implicato nelle funzioni fonologiche del linguaggio (per esempio nella ripetizione automatica di parole). Sebbene queste siano aree cruciali per l'elaborazione linguistica, è probabile che anche altre regioni cerebrali siano coinvolte. Tuttavia ora esiste un substrato anatomico che può spiegare molte delle afasie che il precedente modello non prevedeva.

Il lavoro di Catani e colleghi ha portato a un'altra importante scoperta. Lo schema delle connessioni tra le tre aree del linguaggio nell'uomo è, in buona parte, sovrapponibile a quello presente nelle scimmie. È quindi plausibile l'idea, a lungo rifiutata, che il linguaggio si sia sviluppato grazie alle modifiche di una rete di aree cerebrali già esistenti che, nel corso dell'evoluzione, si sono specializzate.

GIOVANNI MIRABELLA

Un avviso per gli oroscopi

Affiancare le previsioni astrologiche diffuse dai media con appositi «avvisi per il consumatore» (sulla falsariga delle scritte sui danni provocati dal fumo stampate sui pacchetti di sigarette) che dicano chiaramente che non c'è nessuna certezza che i pronostici si verifichino davvero. La richiesta è dell'Unione astrofili italiani (UAI), ed è contenuta nella «Proposta di legge per una corretta informazione sulle previsioni astrologiche» lanciata quest'anno dall'UAI nell'ambito della sua campagna di



sensibilizzazione contro l'eccessiva diffusione dell'astrologia nei mezzi d'informazione. Per aderire, e per altre informazioni, è possibile consultare il sito: http://astrologianograzie.uai.it/.

Occhio al vulcano

Risultati positivi di un progetto per prevedere in anticipo le eruzioni

Riuscire a prevedere l'eruzione di un vulcano con largo anticipo. È questo l'obiettivo di un gruppo di geologi della Ludwig-Maximilian Universität di Monaco, in Germania, che hanno ottenuto un primo significativo progresso lo scorso 31 ottobre. Con l'aiuto delle immagini ad alta risoluzione del satellite Envisat dell'Agenzia spaziale europea (ESA), i ricercatori tedeschi hanno infatti potuto annunciare l'eruzione del vulcano Grimsvötn, uno dei più attivi dell'Islanda, ben 35 ore prima che avvenisse.

L'osservazione dell'attività vulcanica islandese fa parte del progetto di ricerca dell'ESA «Hazard Assessment and Prediction», il cui scopo principale è comprendere, identificare e monitorare i processi dinamici e le loro conseguenze nel vulcanismo e nella glaciologia. «Vorremmo riuscire a costruire un metodo di monitoraggio di catastrofi che sia applicabile in tutto il mondo», spiega Ulrich Münzer, capo del progetto di ricerca in Germania.

Il vulcano subglaciale Grimsvötn si trova nella parte occidentale del ghiacciaio più grande d'Europa, il Vatnajökull. L'eruzione del 1° novembre 2004 è stata preceduta da vari segnali. La camera magmatica sotto la caldera si era riempita e, grazie a misure GPS, si era potuto accertare un aumento tra i cinque e i dieci centimetri all'anno. Dalla metà del 2003 si era poi notevolmente intensificata l'attività sismica e la pressione nella camera magmatica aveva raggiunto la stessa intensità che aveva avuto prima dell'ultima eruzione nel 1998. Si tratta di segnali tipici che precedono fenomeni sismici di questo tipo e che vengono misurati sul posto.

Combinando questi dati con quelli forniti dal satellite, sviluppando un sistema informativo geo-

SIE Productions/Corbis/Contrasto

I segreti delle tempie grigie

La scoperta è avvenuta quasi per caso. Un gruppo di ricerca della Harvard Medical School, guidato da Emi Nishimura, stava cercando una strategia contro il melanoma, un tumore aggressivo della pelle. Negli studi sui topi, la loro attenzione era concentrata sulle cellule staminali dei follicoli piliferi, che si moltiplicano senza controllo in caso di melanoma e il cui compito è generare cellule differenziate contenenti melanina, responsabile del colore dei capelli. A suscitare la loro curiosità è stato il fatto che non solo nei topi, ma anche nell'uomo si ha di norma una diminuzione nel tempo di queste cellule, che è associata all'incanutimento. Inoltre, il progressivo impoverimento di staminali è accelerato dal declino di un gene, chiamato Bcl2, la cui azione protegge selettivamente le cellule nel passaggio alla fase dormiente, cioè quando l'apparato di crescita del follicolo è a riposo. La causa dell'ingrigimento sarebbe quindi legata alla morte delle staminali alla base dei capelli e non al malfunzionamento delle cellule differenziate loro discendenti che contengono il pigmento, come si riteneva prima. Una scoperta che un giorno potrebbe significare l'addio ai capelli bianchi.

LUCA SCIORTINO

LE AREE CEREBRALI di Broca e di Wernicke, finora considerate le uniche due aree del linguaggio, sono connesse non solo tra loro, ma attraverso una terza area implicata nell'elaborazione semantica del linguaggio. Sotto, un aereo in volo vicino alle nubi di polveri e vapore prodotte dall'eruzione del vulcano islandese Grimsvötn all'inizio del novembre scorso. L'eruzione è stata prevista con 35 ore di anticipo dagli scienziati della Ludwig-Maximilian Universität di Monaco.

grafico (GIS), i ricercatori sono riusciti a prevedere l'eruzione. «In collaborazione con l'ESA siamo riusciti ad abbassare i tempi che intercorrono tra la registrazione dei dati da parte del satellite e l'implementazione completa nel nostro GIS a sole sei ore», spiega il ricercatore tedesco Kilian Scharrer.

Il processo che porta a sviluppare il sistema informativo geografico è infatti piuttosto lungo. Dapprima i dati devono essere immagazzinati dal radar ASAR, uno dei dieci strumenti di cui è dotato il satellite, e inviati a una stazione ricevente dell'ESA. Qui i vari gigabyte di informazioni digitali devono essere trasformati in immagini che i ricercatori possono richiamare via Internet e far analizzare per i propri scopi.

Un anno e mezzo fa, per fare tutto questo sarebbero state necessarie 24 ore. Grazie anche alle nuove tecnologie e allo sviluppo di computer sempre più veloci, oggi questo lasso di tempo si è accorciato di quattro volte. Ma i ricercatori tedeschi contano di riuscire a ridurre ulteriormente i tempi e arrivare, nel giro di un paio d'anni, a impiegarci meno di un'ora.

CATIA PEDUTO

Ragnar Axellsson/Ap Photo

NEWS

Lezione di statistica a caro prezzo

La recente «stangata» elettronica al casinò del Ritz ha precedenti illustri

Nelle scorse settimane i giornali hanno riportato la divertente cronaca del terzetto che ha sbancato il casinò dell'Hotel Ritz di Londra usando microcomputer e tecnologie laser: non solo sono riusciti a battere la roulette, ma anche a passarla liscia, portandosi a casa i soldi, perché Scotland Yard non ha giudicato illegale determinare con metodi elettronici quale sarà la casella di destinazione della pallina. Forse però pochi sanno quanto siano stati sprovveduti i responsabili del casinò londinese: questa truffa, infatti, è stata realizzata per la prima volta negli Stati Uniti all'inizio degli anni settanta da un gruppo di hippy genialoidi che hanno addirittura documentato la loro storia in un libro molto divertente, dal titolo *Eudaemonic Pie*, mai tradotto in italiano ma reperibile sul mercato internazionale dell'usato (www.addall.com).

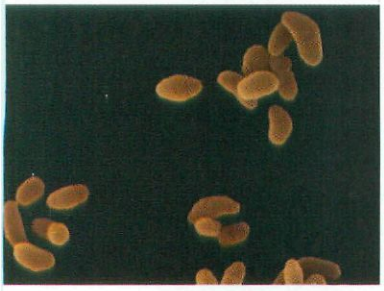
Spinti dal desiderio di rivalsa sul sistema e dotati di un'intelligenza non comune, questi giovani californiani si resero conto di una debolezza intrinseca del gioco della roulette, vale a dire della sua «onestà» tra i giochi d'azzardo, in quanto le probabilità in favore del banco sono solo leggermente maggiori di quelle del giocatore (si tratta di un vantaggio del 3-6 per cento a seconda che ci sia lo zero o anche il doppio zero, valori che non danno luogo a vincita). In confronto, giochi come il totocalcio o, ancora peggio, il lotto, sono enormemente più sfavorevoli per il giocatore. Per cui se si riesce a spostare anche di poco la bilancia della probabilità in proprio favore, calcolando la corsa della pallina prima che si chiudano le puntate, il gioco è fatto.

Per calcolare la traiettoria della pallina, quei pionieri della tecnologia elettronica usarono i primissimi microchip prodotti nella Silicon Valley. Nascosti i microchip all'interno di scarpe e tasche, utilizzando i loro occhi come sensori per traguardare la pal-

FLASH

• Sale a 210 milioni di euro il finanziamento triennale stanziato dal **Ministero francese della ricerca** per il Programma nazionale di nanotecnologie, che prevede tra l'altro la creazione di una rete nazionale di nanoscienze e la costruzione di un centro specializzato a Grenoble.
CORDIS, 20 dicembre

• Completata la sequenza del DNA del batterio *Francisella tularensis*, patogeno infettivo e



letale, responsabile della **tularemia** e ritenuto una potenziale arma biologica.
«Nature Genetics», 10 gennaio

• Scoperto in Cina il fossile di un **mammifero vissuto 130 milioni di anni fa**, *Repenomamus giganticus*, le cui dimensioni (più di un metro di lunghezza) erano tali da consentirgli di predare giovani dinosauri.
«Nature», 13 gennaio

Batteri con il sonar

Un meccanismo di segnalazione per sondare l'ambiente

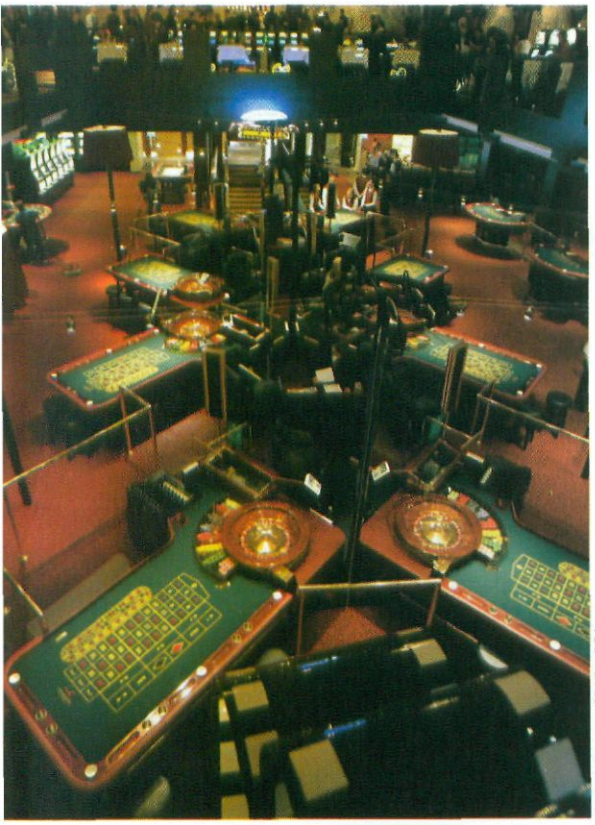
Batteri che si comportano come pipistrelli? Sembrerebbe di sì, almeno nel caso di *Enterococcus faecalis*, un patogeno tristemente noto ai medici perché è uno dei principali responsabili delle infezioni acquisite in ambito ospedaliero. Un gruppo di ricerca della Harvard Medical School di Boston ha infatti scoperto un meccanismo che – come un sonar – permette a questo batterio di scandagliare l'ambiente circostante e di reagire di conseguenza. A differenza dei pipistrelli, però, il sistema è chimico e non acustico.

Già dagli anni trenta si sa che ceppi particolarmente virulenti di *E. faecalis* rilasciano una tossina capace di distruggere altre cellule (sia di batteri sia dell'ospite infettato, per esempio l'uomo) e che questa tossina viene prodotta in grandi quantità solo quando ce n'è davvero bisogno. La novità è che gli scienziati hanno capito come fa l'enterococco a sapere quando è il momento giusto per la produzione.

Eye Of Science/SPL/Grazia Neri

Il meccanismo è descritto in un articolo pubblicato il 24 dicembre scorso su «Science». La tossina in questione si chiama citolisina, ed è composta da due piccole subunità proteiche ($CylL_L''$ e $CylL_S''$): insieme, queste si organizzano in una struttura che forma dei pori sulle membrane delle cellule bersaglio e ne provoca la rottura e quindi la morte.

Secondo i dati raccolti da Michael Gilmore e collaboratori in esperimenti condotti con globuli rossi umani, però, le due subunità partecipano anche al meccanismo di esplorazione ambientale e di segna-



AP Photo/Pressens Bild/Bertil Ericson

lina, dopo un lungo lavoro preparatorio riuscirono a fare funzionare il sistema – guadagnandoci una discreta somma – prima di essere scoperti ed espulsi dalle case da gioco americane.

Poco dopo però il gruppo si sciolse. Alcune delle menti che avevano escogitato il metodo alla base della truffa divennero noti professori in università californiane dando i natali a un nuovo ramo della matematica, oggi attualissimo, che studia appunto il caos e i sistemi complessi. Una delle pagine più belle del libro racconta dell'incontro tra questi tecno-hippy e Claude Shannon, guru della teoria dell'informazione. Dopo averli ascoltati attentamente, il vecchio Shannon li portò nel suo laboratorio, dove mostrò loro i tentativi che aveva fatto per sviluppare un computer analogico proprio per cercare di risolvere le equazioni di un moto caotico come quello della pallina di una roulette... forse nemmeno loro erano stati i primi ad avere quell'idea, ma certamente erano stati i primi a realizzarla.

Nel libro si sostiene che, proprio in seguito a questo tentativo di truffa, in molte roulette degli Stati Uniti non si può più puntare dopo il lancio della pallina da parte del croupier. Non ho potuto verificare, ma certo il terzetto londinese ha saputo sfruttare l'ingenuità di croupier così poco aggiornati in fatto di tecnologie da farsi imbrogliare con un trucco escogitato più di trent'anni fa.

ROBERTO BATTISTON

lazione al batterio. Eccone il funzionamento: in assenza di cellule bersaglio, *E. faecalis* rilascia nell'ambiente livelli molto bassi delle due subunità, che si combinano in un complesso inattivo. In presenza di un bersaglio, invece, la subunità $CylL_L''$ va subito a legarsi alla sua membrana, mentre $CylL_S''$ rimane temporaneamente spaiata e viene ricatturata dal batterio. Al suo interno, interagisce con il DNA batterico, inducendo l'attivazione dei geni che codificano per le subunità stesse della citolisina e promuovendone così la sintesi. A poco a poco, le nuove subunità $CylL_S''$ prodotte si uniscono a quelle di tipo $CylL_L''$ già legate sulle cellule bersaglio, che vengono distrutte.

Insomma, il batterio invia un segnale (le due subunità) che – una volta raggiunto un ostacolo (la cellula bersaglio) – ne viene modificato: una subunità si lega, mentre l'altra torna indietro per avvertire che occorrono rinforzi. «La comprensione del funzionamento delle tossine batteriche – spiega Gilmore – potrà aiutare a sviluppare nuovi inibitori per le tossine stesse. Una prospettiva importante soprattutto per i patogeni resistenti agli antibiotici».

Ma questa scoperta apre anche uno spiraglio su applicazioni che per ora sono solo fantascienza: se un batterio può «vedere» delle cellule nell'ambiente che lo circonda, forse potremmo trasformarlo e addestrarlo per fargli riconoscere elementi di nostro interesse, come altri batteri patogeni o addirittura certi minerali.

VALENTINA MURELLI

Arbitri in fuorigioco

La scienza conferma quello che i tifosi sospettano da sempre: gli arbitri non riescono a percepire correttamente la posizione di fuorigioco. E non perché siano parziali o mal preparati, ma semplicemente perché il nostro cervello non ce la può fare. A questa conclusione è arrivato il neurologo Francisco Belda Maruenda, che ne ha scritto sul «British Medical Journal». La regola del fuorigioco si applica quando un attaccante riceve un passaggio da un compagno mentre è al di là del difensore avversario più arretrato, portiere escluso. Secondo Belda Maruenda per applicare correttamente la regola un arbitro dovrebbe tenere d'occhio contemporaneamente almeno due difensori e due attaccanti, oltre al pallone. Ma seguire simultaneamente cinque oggetti in movimento, per di più sparsi in un'area piuttosto vasta, mentre altri giocatori corrono in tutte le direzioni, va molto al di là delle capacità di elaborazione del sistema visivo umano. E neanche l'aiuto dei guardialinee migliora la situazione, essendo anche loro, pur da punti di vista diversi, nelle stesse condizioni dell'arbitro. Da questa impossibilità derivano gli infiniti errori di valutazione del fuorigioco, fischiato a sproposito o negato quando c'è, che le moviole impietosamente ripropongono a partita conclusa. L'unica soluzione, secondo Belda Maruenda, anche se forse un po' ottimistica, è dotare l'arbitro di piccole moviole portatili che gli consentano di valutare meglio l'esistenza o meno del fuorigioco. Resta da capire come un simile supporto tecnologico si possa integrare con il normale svolgimento della partita.

ALESSANDRO CODEGONI

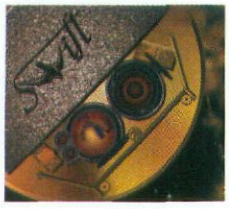
NEWS

FLASH

• Un'analisi dell'**epidemia di AIDS** nell'Africa subsahariana ha dimostrato che l'approccio combinato di interventi terapeutici e campagne di prevenzione potrebbe evitare quasi 30 milioni di nuovi contagi e 10 milioni di morti entro il 2020. **«PLoS Medicine», 11 gennaio**

• Un gruppo di ricercatori canadesi ha identificato la mutazione genetica responsabile dell'**epilessia nei cani**, sviluppando un test che potrà essere utilizzato dagli allevatori. **«Science», 7 gennaio**

• «Prima luce» per il telescopio XRT di **Swift, il satellite NASA** realizzato con la collaborazione dell'Agenzia spaziale italiana e del PPARC



inglese che ha catturato un'immagine della supernova Cassiopea A e ha scoperto il suo primo lampo di raggio gamma. **ASI, 5 gennaio**

• I due rover esploratori della NASA, Spirit e Opportunity, hanno festeggiato il loro **primo anno sul suolo di Marte**, superando felicemente le rigide temperature invernali del Pianeta Rosso. **NASA, 3 e 24 gennaio**

L'aritmetica e la forza della parola

I popoli che non hanno nomi per i numeri hanno difficoltà con le operazioni

Si possono eseguire calcoli complessi anche in assenza di un ricco lessico numerico? Le opinioni sono contrastanti. Alcuni sostengono che la matematica non sia che un'astrazione linguistica, mentre altri ritengono che il linguaggio non sia essenziale e che i concetti matematici poggino su un «senso numerico» innato, simile a quello osservato in numerosi animali e nei neonati umani. Una terza corrente di pensiero sostiene che con lo sviluppo del linguaggio le rappresentazioni numeriche approssimate presenti sin dalla nascita verrebbero combinate tra loro per dare origine ai concetti dei numeri esatti.

Per mettere alla prova queste teorie, Stanislas Dehaene e i suoi colleghi dell'ospedale Frédéric Joliot di Orsay si sono recati nel cuore dell'Amazzonia per studiare una tribù, i Munduruku, nella cui lingua ci sono solo le parole per definire i numeri dall'uno al cinque. Al di sopra del cinque gli indios usano espressioni come «alcuni», «molti» o, a volte, «più di una mano».

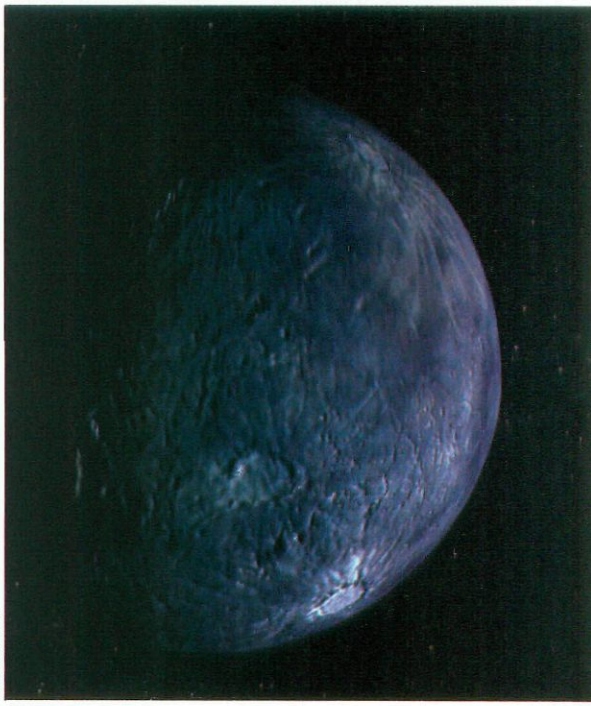
L'equipe francese ha cercato di verificare se e in quale misura le capacità aritmetiche di queste tribù sono compromesse. Per scoprirlo hanno sottoposto a una serie di test un gruppo di indios e un gruppo di «controllo», formato da cittadini francesi istruiti. Inizialmente hanno valutato la capacità di eseguire operazioni approssimate. A ciascun partecipante veniva mostrato un breve video al computer nel quale venivano «versati» due insiemi di puntini in un contenitore virtuale. Subito dopo veniva presentato un terzo gruppo di puntini e veniva chiesto se questo rappresentava approssimativamente il risultato dell'addizione dei due insiemi iniziali. I Munduruku eseguivano l'operazione con una precisione analoga a quella del gruppo di controllo.

Vulcanismo su Quaoar?

Il piccolo pianeta della fascia di Kuiper potrebbe riservare qualche sorpresa

Tutto fuorché geologicamente attivi: così immaginavamo i corpi della Fascia di Kuiper. Ma il più grande di essi, Quaoar, potrebbe smentire questa convinzione, se fosse confermata la presenza di una forma di vulcanismo sulla sua superficie. Vasta regione del sistema solare al di là dell'orbita di Nettuno, la Fascia di Kuiper è popolata da corpi piccoli, ma non troppo: talvolta le loro dimensioni sono paragonabili a quelle di Plutone. L'esistenza di questa fascia, che per certi versi ricorda la cintura di asteroidi che si trova fra Marte e Giove, era stata ipotizzata da tempo, ma solo nel 1992 è stata confermata con la scoperta del primo di questi oggetti transnettuniani da parte di David C. Jewitt, dell'Institute for Astronomy delle Hawaii, e Jane Luu, del MIT Lincoln Laboratory. Da allora molti altri oggetti di Kuiper sono entrati nel carniere dei planetologi. In particolare Quaoar, che con un diametro di 1300 chilometri è grande la metà di Plutone. Scoperto nel 1992, è un mondo freddo che percorre una lenta orbita alla periferia del sistema solare.

Ma quanto è freddo? Non troppo, pare. Sul numero di «Nature» del 9 dicembre è stata pubblicata una ricerca, firmata da Jewitt e Luu, che evidenzia



NASA e G. Bacon

Viceversa, gli indios non riuscivano in un test nel quale dovevano dire la soluzione esatta di una sottrazione. Avvalendosi anche in questo caso di un'animazione al computer, un certo numero di puntini – che poteva variare da uno a otto – era fatto passare attraverso un contenitore virtuale dal quale ne uscivano solo alcuni. I partecipanti dovevano dire quanti erano i puntini che mancavano. Diversamente dai soggetti di controllo, la performance dei Munduruku crollava quando il numero iniziale di puntini era maggiore di quattro.

Questi e altri risultati indicano che gli indios sono in grado di creare rappresentazioni mentali approssimate anche di grandi numeri e possono applicare a tali rappresentazioni i concetti di addizione, sottrazione e paragone. Quindi essi presentano una competenza matematica anche se nella loro lingua vi sono poche parole per definire i numeri. Quello che manca è la capacità di manipolare numeri esatti oltre il tre o il quattro.

Secondo Dehaene il linguaggio avrebbe un ruolo speciale nello sviluppo dell'aritmetica esatta durante l'infanzia e un posto critico in questo processo spetterebbe all'esercizio di contare sulle dita delle mani, cosa che i Munduruku non fanno. L'uso delle dita permette un certo grado di astrazione, consentendo l'appaiamento del numero di oggetti con quantità precise.

GIOVANNI MIRABELLA

CONTARE CON LE DITA serve, nei bambini, a fissare con precisione la relazione tra numeri e quantità.

Michael S. Yamashita/Corbis/Contrasto

la presenza di ghiaccio su Quaoar, rilevata con il telescopio Subaru nello spettro infrarosso del pianetino. E fin qui niente di strano: l'acqua è molto diffusa nel sistema solare, e probabilmente è dominante nei corpi della Fascia di Kuiper. Il fatto curioso è che quel ghiaccio ha una struttura cristallina, indizio di una temperatura più elevata del previsto. E c'è di più: studiando lo spettro, Jewitt e Luu suggeriscono che su Quaoar vi sia anche ammoniaca, mescolata al ghiaccio d'acqua.

Ma sia la miscela fra ghiaccio e ammoniaca sia il ghiaccio cristallino dovrebbero essere distrutti dal bombardamento di particelle cosmiche in 10 milioni di anni, un tempo breve, su scala geologica. Invece sono lì. Perché? Jewitt e Luu suggeriscono un meccanismo che riscaldi Quaoar fino ad almeno 200 kelvin: il decadimento di elementi radioattivi. La miscela in questo modo si troverebbe a essere meno densa dell'ambiente circostante e filtrerebbe verso la superficie, aprendo delle fessure e liberandosi all'esterno. È il fenomeno che i due ricercatori chiamano «criovulcanismo», un meccanismo simile al vulcanismo dei pianeti di tipo terrestre.

Non rimane che proseguire le ricerche con i mezzi a disposizione. In particolare dovrebbero essere di aiuto gli spettri raccolti dall'osservatorio orbitante Spitzer, che opera nell'infrarosso. E forse riusciremo a chiarire anche il mistero di questo piccolo pianeta della Fascia di Kuiper.

MARCO CAGNOTTI

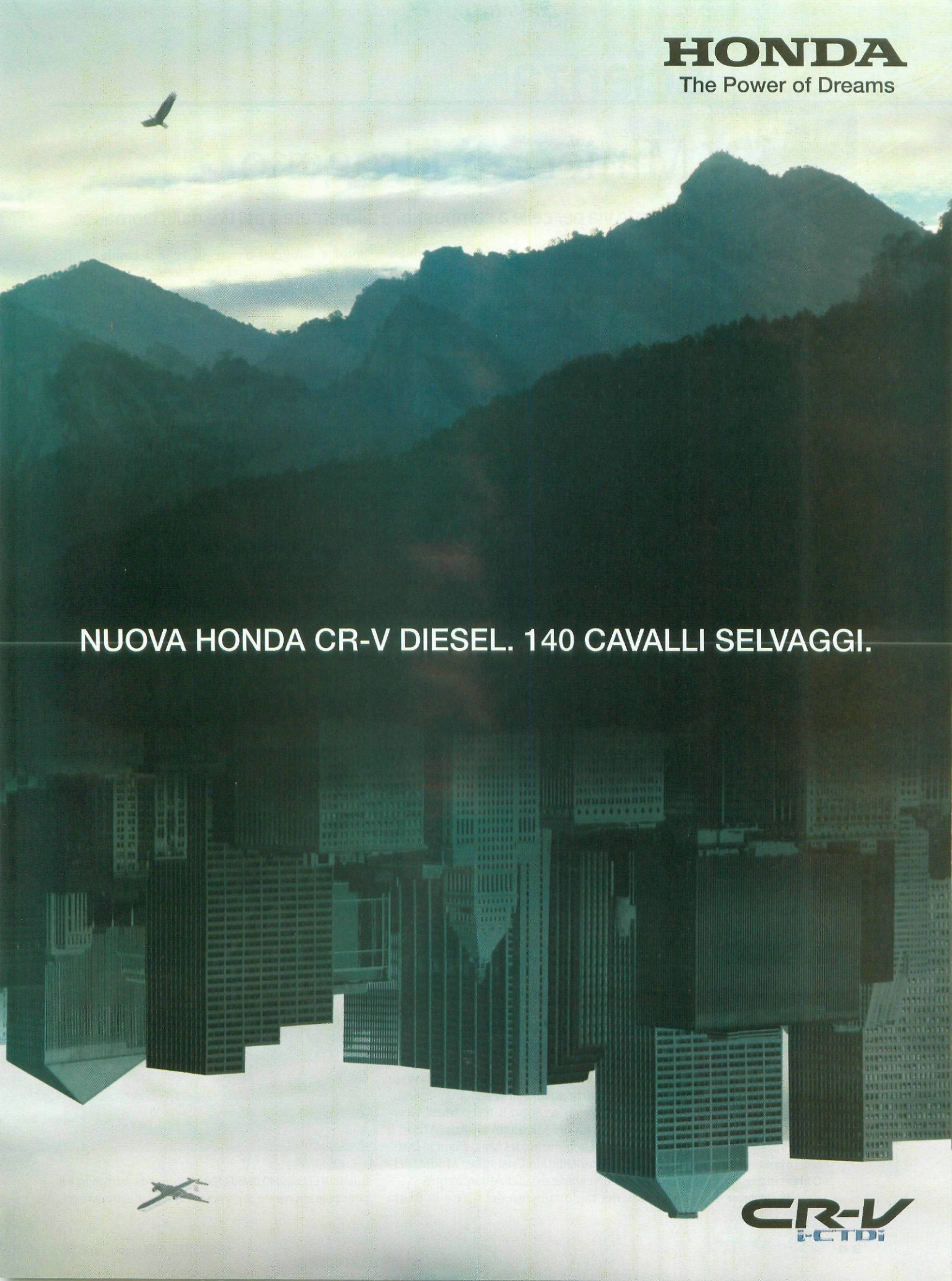
A Giorgio Parisi il premio Nonino

«Pioniere della complessità, il suo cercare regole ed equilibri dentro sistemi caotici ipotizzando strumenti matematici potrà portare a grandi scoperte in tutti i campi dello scibile, dall'immunologia alla cosmologia». Con questa motivazione la giuria del premio Nonino, giunto alla sua trentesima edizione, ha assegnato a Giorgio Parisi il riconoscimento «A un Maestro Italiano del nostro Tempo». Non è la prima volta che le famose distillerie di Percoto premiano il lavoro di uno scienziato, e anche in questa occasione hanno visto bene. Professore di teorie quantistiche all'Università «La Sapienza» di Roma, Parisi ha dato contributi di eccezionale portata nei più diversi campi della scienza, dalle particelle elementari alla meccanica statistica, dallo studio dei sistemi complessi alle reti neurali, fino all'immunologia teorica. Gli altri due premi – la consegna è avvenuta il 29 gennaio presso le distillerie Nonino – sono andati al romanziere cinese Mo Yan e alla scrittrice bengalese Mahasweta Devi. (*Marco Cattaneo*)

La coscienza ai Lincei

Un seminario di tre giorni sulla neurobiologia della coscienza dedicato agli studenti e ai professori delle scuole secondarie superiori, con lezioni tenute da neuroscienziati, biologi e filosofi della scienza. L'iniziativa è dell'Accademia dei Lincei e si terrà a Roma, via della Lungara 230, dal 24 al 26 febbraio prossimo. Per informazioni e prenotazioni: tel. 06/68.33.131 - 06/68.61.159 oppure 06/68.02.72.76 - fax 06/689.36.16.

Emissioni CO_2 177 gr/ Km - Consumi 14,9 Km /l nel ciclo combinato.
NUOVA HONDA CR-V i-CTDi. IL DIESEL PIÙ ECOLOGICO DELLA SUA CATEGORIA.
Motore i-CTDi da 140 cavalli, l'unico conforme alla normativa Euro 4 nella sua categoria, sistema di controllo della stabilità e della trazione VSA, navigatore satellitare DVD, trazione integrale Real Time 4WD a inserimento automatico. A partire da € 25.350 (IPT esclusa). Honda per voi 800-88.99.77 www.honda.it


HONDA
The Power of Dreams
NUOVA HONDA CR-V DIESEL. 140 CAVALLI SELVAGGI.
CR-V
i-CTDi

NEWS

Miniere di idrogeno

Aperta la via per celle a combustibile alimentate a partire dalle biomasse

Produrre idrogeno per le celle a combustibile in maniera economicamente efficiente non è più un sogno. Alcuni studi pubblicati di recente mostrano come sia possibile produrre idrogeno con alta resa (fino al 95 per cento) a partire da biomassa, cioè da comuni prodotti agricoli quali zucchero, amido, oli vegetali e alcool etilico.

I metodi sono sorprendentemente semplici: basta azzeccare la temperatura e la pressione giuste e lo zucchero o l'olio di soia si trasformano quasi completamente in idrogeno (o, volendo, anche in benzina). In queste ricette però è assolutamente necessario un pizzico di un prezioso ingrediente: il platino che catalizza la reazione (un po' come lo zafferano nel risotto alla milanese). Ma anche quest'ultimo ostacolo, di natura economica, è stato superato con la realizzazione di un catalizzatore altrettanto efficiente costituito da metalli comuni quali nichel e stagno. È dunque possibile avere ottimi combustibili, rinnovati anno dopo anno grazie all'agricoltura.

Come è noto, esistono già alcuni prototipi di auto a idrogeno basate su celle a combustibile, ma la loro commercializzazione è impedita, tra l'altro, dal fatto che l'idrogeno non si trova al distributore e che, anche se lo si trova, bisogna tenerselo sotto il sedile (ed è un elemento che esplode con facilità).

L'estate scorsa James Dumesic, dell'Università del Wisconsin, ha scoperto un modo finalmente efficace per far funzionare le celle a combustibile delle auto (ma non solo) con la normale benzina o addirittura con combustibili rinnovabili quale l'alcool etilico, grazie anche agli studi di cui abbiamo detto. Ma benzina e alcool contengono, oltre all'idrogeno, anche carbonio, che nella cella si trasforma nel temibile monossido di carbonio CO, gas letale tanto per la cella quanto per gli esseri umani. Fino a oggi, eliminare il CO richiedeva dispositivi complessi e molta energia, a spese dell'efficienza della cella.

Il gruppo di Dumesic ha però escogitato un metodo a costo energetico zero per eliminare il CO. Quest'ultimo viene fatto passare su uno speciale catalizzatore in cui nanoparticelle d'oro tra-

FLASH

• Secondo le osservazioni del satellite a raggi X Chandra, il buco nero supermassiccio al centro della Via Lattea sarebbe circondato da uno «sciame» di oltre **10.000 buchi neri** più piccoli, emigrati verso il centro galattico nel corso di miliardi di anni.
NASA, 10 gennaio

• È entrata in funzione la Wide Field Camera (WFCAM) del telescopio britannico UKIRT delle Hawaii, il più potente **rivelatore astronomico nell'infrarosso** mai costruito, che consentirà di scrutare grandi regioni

del cielo alle lunghezze d'onda dell'infrarosso.
Joint Astronomy Center, 22 dicembre

• Secondo un'indagine su 25.000 europei, a segnare la vera fine dell'adolescenza sarebbe un cambiamento piuttosto repentino nelle abitudini del sonno, che si verifica intorno ai vent'anni, quando ritorna la capacità di **svegliarsi presto la mattina.**
«Current Biology», 29 dicembre

Sempre a caccia di ET

Ma secondo uno studio non sapremmo riconoscere segnali intelligenti

Da decenni gli astronomi stanno scandagliando il cielo alla ricerca di qualche segnale intelligente proveniente da una civiltà aliena. Dando per scontato che se di segnale intelligente dovesse trattarsi sarebbe immediatamente riconoscibile rispetto al rumore di fondo emesso dalle altre sorgenti celesti, come il rumore termico delle stelle, dal quale dovrebbe distinguersi nitidamente. Ma adesso un gruppo di ricercatori ha posto seri dubbi sul fatto che, quand'anche qualcuno stesse tentando di comunicare con gli abitanti della Terra, noi saremmo in grado non solo di comprendere il messaggio, ma addirittura di recepirlo come tale, ovvero come comunicazione intelligente da una civiltà aliena.

A sostenere questa idea, pubblicata di recente sull'«American Journal of Physics» con il significativo titolo *The physical limits of communication, or why any sufficiently advanced technology is indistinguishable from noise*, sono il fisico Mark Newman, dell'Università del Michigan ad Ann Arbor, il biologo Michael Lachmann, del Max-Planck-Institut di Lipsia, e l'informatico Cristopher Moore, dell'Università del New Mexico ad Albuquerque.

Alla base del ragionamento dei tre c'è la teoria

Tomas van Houtryve/AP Photo/

IL RADIOTELESCOPIO DI ARECIBO, il più grande del mondo, è il principale strumento per la ricerca di segnali extraterrestri.

sformano il velenoso monossido di carbonio CO in innocua anidride carbonica. Si tratta dunque di una nuova nanotecnologia, termine che ormai è entrato anche negli spot televisivi.

Nonostante il problema della produzione di CO_2, che è comunque un gas serra, anche solo questa invenzione avrebbe già eliminato il maggior ostacolo verso la rottamazione dei motori a scoppio. Ma ecco il colpo di genio. La trasformazione del monossido di carbonio produce nuova energia che viene sfruttata per aggiungere elettroni a uno speciale ossido di molibdeno e fosforo non inquinante e noto con il nome di poliossometallato. Questo viene convogliato nella cella dove libera gli elettroni in eccesso contribuendo così alla produzione di energia. E una volta scarico il poliossometallato ritorna a raccogliere elettroni provenienti dall'eliminazione del CO, e così via.

Insomma, un letale nemico come il monossido di carbonio potrebbe diventare una preziosa fonte di energia pulita e le celle a benzina o ad alcool possono diventare semplici ed efficienti come quelle che funzionano solo con idrogeno puro. Diverse case automobilistiche ha già espresso interesse per questa tecnologia a pochi mesi dal suo annuncio, perché il suo impiego permetterebbe di passare alla produzione in serie di automobili elettriche.

ALESSANDRO PONTI

dell'informazione elaborata da Claude Shannon negli anni quaranta, secondo la quale, nel caso in cui il ricevitore non conosca la codifica del messaggio, ovvero gli sia sconosciuto il linguaggio in cui è inviato, un messaggio trasmesso con efficienza ottimale è indistinguibile dal rumore casuale. In altre parole, un messaggio ad alto contenuto di informazione può essere confuso con una sequenza casuale di segnali: senza i necessari strumenti di codifica, è impossibile stabilire la differenza fra le due trasmissioni. E questo vale per ogni tipo di trasmissione, comprese quelle effettuate per mezzo di onde elettromagnetiche. Come hanno appunto dimostrato per le onde radio Newman e colleghi.

Una civiltà extraterrestre che puntasse i propri radiotelescopi verso il nostro pianeta non avrebbe particolari difficoltà a intercettare segnali di natura aliena (per loro): le nostre trasmissioni radiotelevisive hanno infatti un basso livello di codifica, e dunque sono facilmente distinguibili dal rumore termico proveniente dalle stelle.

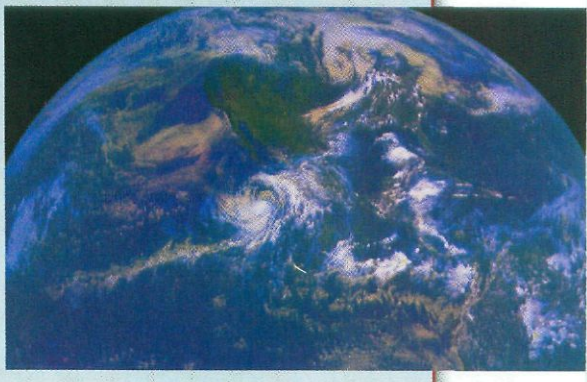
Molto meno facile potrebbe essere invece il compito di noi terrestri. I nostri radiotelescopi stanno infatti cercando trasmissioni non casuali simili alle nostre. Ma una civiltà aliena con una tecnologia molto sviluppata potrebbe trasmettere verso di noi segnali codificati in maniera più efficiente, tanto da farceli confondere con il rumore radio delle stelle. E da rendere paradossalmente vano il nostro sforzo di entrare in contatto con loro.

LEO E. RICCI

Metano non biologico

L'idea che il nostro pianeta possa produrre idrocarburi in modo non biologico è piuttosto antica, ma dopo decenni di discussioni sono ora arrivate alcune conferme sperimentali. Qualche tempo fa Henry Scott, dell'Università dell'Indiana, aveva ricreato condizioni simili a quelle del mantello terrestre fra due piccole incudini di diamante, dimostrando, ma non spiegando, la produzione di metano. Ora un gruppo di ricerca dell'Università del Minnesota guidato da Dionysios Foustoukos si è spinto ancora più in la, descrivendo come avviene la produzione di metano.

È emerso così che si tratta di un processo a due stadi. Nel primo, un composto di ferro presente nella roccia rimuove l'ossigeno dall'acqua, liberando idrogeno gassoso. Nella seconda fase l'idrogeno reagisce con l'anidride carbonica contenuta nel magma per produrre metano e, nuovamente, acqua. Il gruppo di Foustoukos ha anche aggiunto un altro importante elemento a questo scenario. In un altro esperimento si è infatti osservato che l'aggiunta di cromo, di cui molte rocce sono ricche, non solo accelera il processo, ma porta anche alla produzione di idrocarburi più pesanti, come l'etano e il propano. D'altro canto, tutti i ricercatori coinvolti in questi studi concordano sul fatto che il metano prodotto da processi non biologici non ha alcuna possibilità di essere sfruttato a fini commerciali. E sicuramente non dimostra un'altra vecchia idea secondo cui la Terra produrrebbe più idrocarburi di quanti ne possiamo consumare, per cui non ci sarebbe il rischio di un loro esaurimento. In compenso, il metano così prodotto potrebbe avere svolto un ruolo importante nella storia dal pianeta. Intanto, quantità anche piccole di idrocarburi sarebbero state una preziosa fonte di energia per i primi batteri che abitarono il pianeta. E potrebbero esserlo ancora oggi per le comunità di batteri che abitano le sorgenti idrotermali lungo le dorsali oceaniche. Per verificare la presenza di idrocarburi in queste zone, Foustoukos ha messo a punto sensori chimici che spera di poter presto installare in qualche sorgente. Diversamente, ha suggerito Scott, si potrebbero cercare piccole sacche di gas rimaste intrappolate in rocce di nuova formazione.

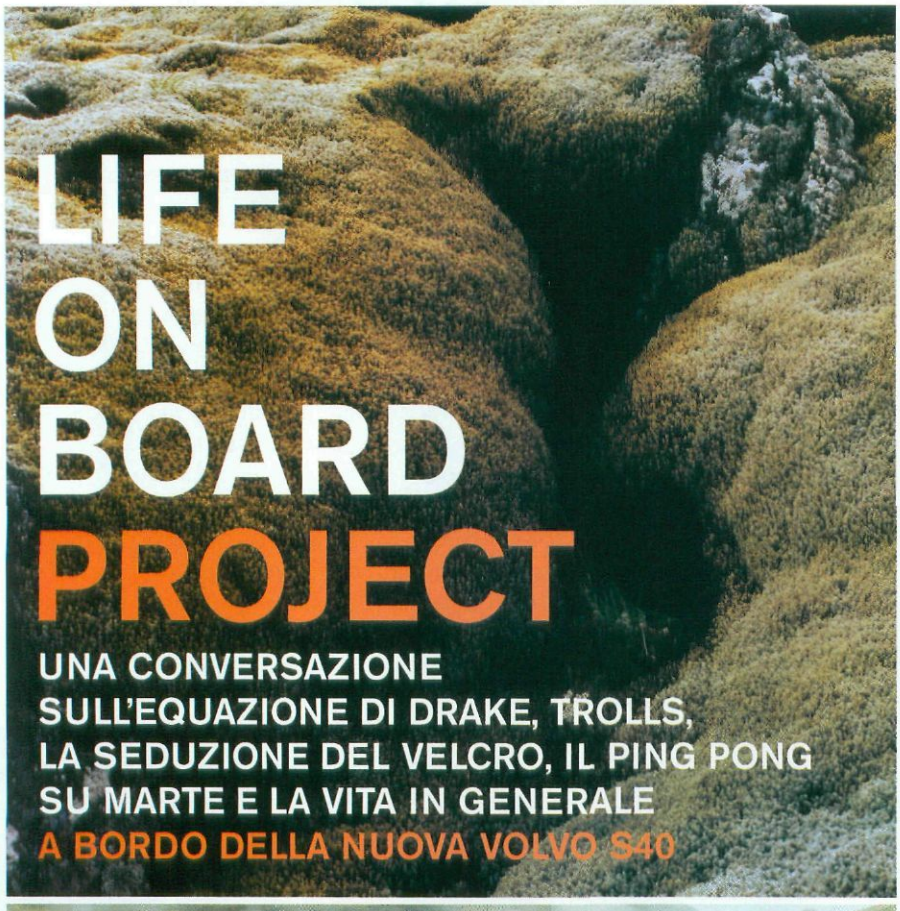


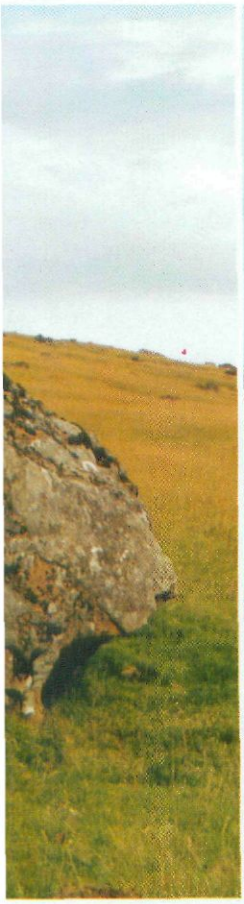
Ma, dato che si tratta di uno dei principali responsabili dell'effetto serra, il metano di origine non biologica potrebbe avere svolto anche un altro ruolo. Il gas, magari liberato in grandi quantità da qualche importante evento geologico, potrebbe aver contribuito ai vari eventi, ampiamente documentati dai paleoclimatologi, in cui la Terra attraversò periodi di intenso riscaldamento, ben prima che l'uomo iniziasse a giocare con la chimica dell'atmosfera.

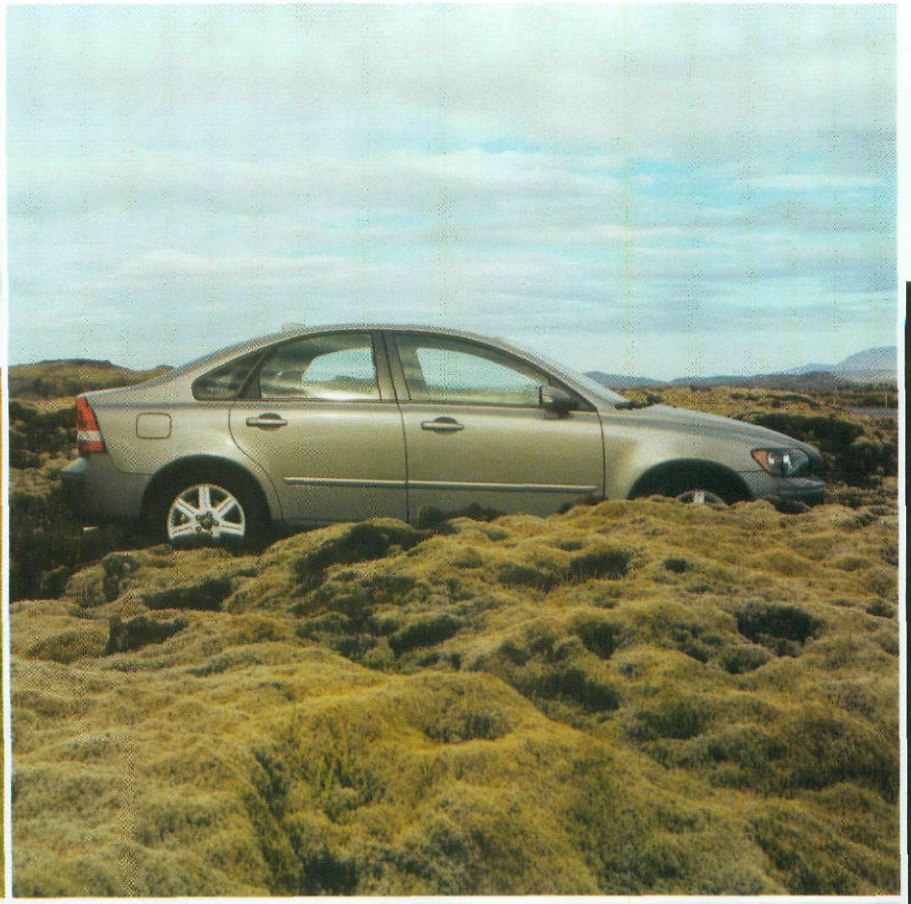
ALDO CONTI

LIFE ON BOARD PROJECT

UNA CONVERSAZIONE SULL'EQUAZIONE DI DRAKE, TROLLS, LA SEDUZIONE DEL VELCRO, IL PING PONG SU MARTE E LA VITA IN GENERALE A BORDO DELLA NUOVA VOLVO S40







VOLVO
for life

FILM
BY FUEL EUROPE

PASSEGGERI
GEORGE HULL (SCENOGRAFO E ILLUSTRATORE CONCETTUALE INDIOAMERICANO, IDEATORE DELLE PIÙ AVVENIRISTICHE SCENOGRAFIE NEI FILM DI HOLLYWOOD) E PASCAL LEE (GEOLOGO CINOFRANCESE, STUDIOSO DELLA PRESENZA DELL'ACQUA SU MARTE E DELLA VITA SU ALTRI PIANETI).

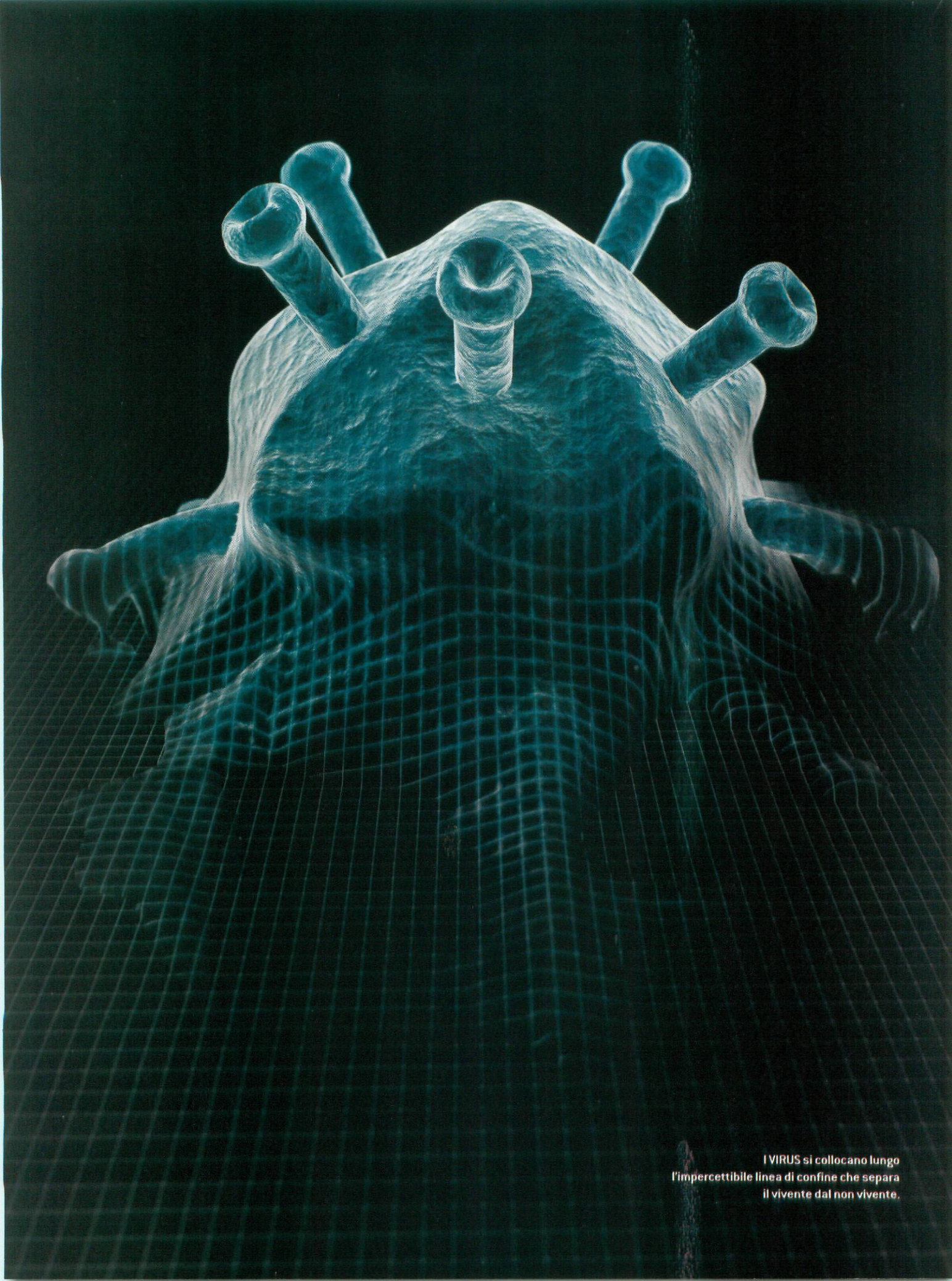
VIAGGIO
DA MARTE A REYKJAVIK (ISLANDA)

AUTO
VOLVO S40 È LA NUOVA COMPATTA HI-TECH DI VOLVO DAL RAFFINATO DESIGN SCANDINAVO. IL TELAIO GARANTISCE UN ECCEZIONALE PIACERE DI GUIDA, MENTRE L'INNOVATIVO CONCEPT DEGLI INTERNI OFFRE COMFORT AI MASSIMI LIVELLI.
IN PIÙ È SICURA COME SOLO VOLVO SA ESSERE GRAZIE AL RIVOLUZIONARIO SISTEMA IDIS.
PROVALA PRESSO TUTTI I CONCESSIONARI VOLVO.

BENZINA 1.6 100CV (74KW),
1.8 125CV (92KW), 2.4 140CV (103KW),
2.4 170CV (125KW),
T5 220CV (162KW),
T5 AWD 220CV (162KW).
TURBODIESEL COMMON RAIL
1.6D 110CV (81KW), 2.0D 136CV (100KW).

Consumi ciclo combinato:
da 4.9 a 10.1 litri/100 km.
Emissioni CO_2: da 129 a 241 g/Km.

GUARDA IL FILM SU
VOLVOCARS.IT



I VIRUS si collocano lungo
l'impercettibile linea di confine che separa
il vivente dal non vivente.

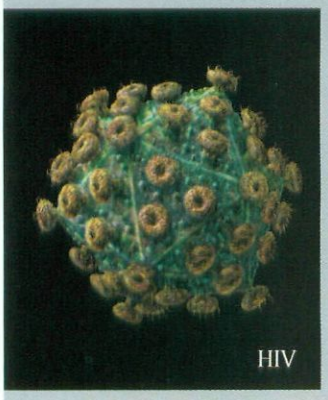
I virus sono vivi?

Anche se sfidano l'idea stessa di «vita», i virus hanno un ruolo decisivo nell'evoluzione degli organismi viventi

di Luis P. Villarreal

Bryan Christie

In una puntata di *The Honeymooners*, una commedia televisiva che andava per la maggiore negli anni cinquanta, Ralph Kramden, conducente d'autobus a Brooklyn, si rivolgeva alla moglie Alice dicendole «Sai benissimo che so benissimo con quanta facilità ti becchi i virus!». Mezzo secolo fa, persino persone qualunque come i Kramden avevano qualche informazione sui virus. Sapevano, per esempio, che sono microscopici portatori di malattie; tuttavia, è quasi certo che non sapevano con precisione che cosa fosse un virus. Non erano gli unici: e non lo sono neanche oggi.


HIV

La vera essenza dei virus è nel loro indistricabile legame con l'apparato genetico e metabolico dell'ospite.

1993 – Joshua Lederberg, Stati Uniti, premio Nobel per la medicina

Considerare o no i virus come organismi viventi è più che altro una questione di gusti.

1962 – André Lwoff, Francia, premio Nobel per la medicina

Un virus è un virus!

1959 – André Lwoff

Per quasi un secolo la comunità scientifica ha cambiato ripetutamente idea su cosa fossero i virus. Considerati inizialmente alla stregua di veleni, in seguito come forme di vita, e infine come sostanze chimiche di natura biologica, oggi i virus vengono collocati in una sorta di limbo tra vivente e non vivente: non possono replicarsi in modo autonomo ma solo nelle cellule realmente vive, esercitando a volte una profonda influenza sul comportamento del loro ospite. La classificazione dei virus come *non viventi* per buona parte dell'era moderna delle scienze biologiche ha avuto conseguenze impreviste: ha indotto la maggior parte dei ricercatori a non tenerne conto nello studio dell'evoluzione. Oggi, però, gli scienziati hanno finalmente iniziato a riconoscere il ruolo fondamentale dei virus nella storia della vita.

Scendere a patti

Non è difficile comprendere perché sia stato problematico inquadrare i virus: sembrano diversi a seconda di come vengono studiati. L'interesse iniziale verso di essi derivava dalla loro associazione con le malattie: il termine *virus*, infatti, deriva dal vocabolo latino che significa veleno. Alla fine del XIX secolo, i ricercatori capirono che alcune malattie, tra cui la rabbia e l'afta epizootica, erano causate da particelle che sembravano comportarsi come batteri, ma erano molto più piccole di essi. Data la loro natura chiaramente biologica e la facilità con cui potevano diffondersi da un soggetto a un altro provocando evidenti effetti biologici, si pensò allora che i virus fossero le più semplici tra tutte le forme di vita dotate di patrimonio genetico.

La loro retrocessione a sostanze chimiche inerti avvenne dopo il 1935, quando Wendell Stanley e i suoi colleghi, in quella che è l'attuale Rockefeller University a New York, cristallizzarono per la prima volta un virus (il virus del mosaico del tabacco), e videro che era composto da un involucro di sostanze biochimiche complesse, ma che era privo delle strutture fondamentali indispensabili per svolgere le funzioni metaboliche, l'attività biochimica della vita. Grazie alle sue ricerche, nel 1946 Stanley condivise con altri ricercatori il premio Nobel per la chimica, non per la medicina.

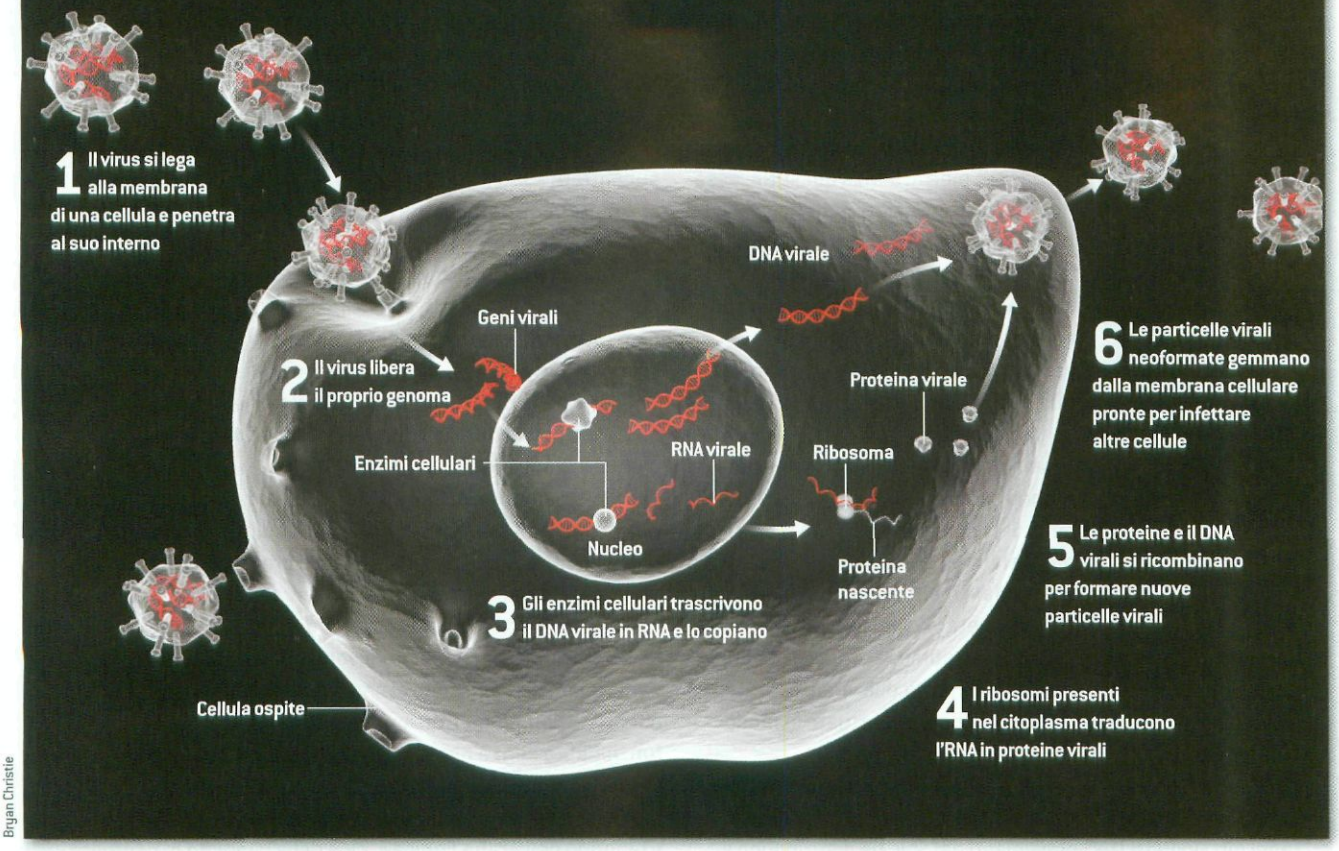
Studi successivi, stabilirono inequivocabilmente che un virus è composto da acidi nucleici (DNA o RNA) racchiusi in un involucro proteico che, talvolta, cela qualche altra proteina virale coinvolta nel processo infettivo. Basandosi su questa descrizione, un virus sembra più simile a un complesso di molecole chimiche che a un organismo vivente. Tuttavia, quando entra in una cellula (che dopo l'infezione viene chiamata *ospite*) il virus è tutt'altro che inattivo. Si libera dell'involucro, scopre i propri geni e induce l'apparato di replicazione della cellula a riprodurre il DNA o l'RNA estraneo (cioè il suo), e a fabbricare altre copie delle proteine virali sulla base delle istruzioni contenute nel pro-

London School of Hygiene & Tropical Medicine/SPL/Grazia Neri; in alto: Russell Kightley/SPL

VIRUS EMERGENTI. Qui sopra, una micrografia elettronica di particelle del virus Ebola in fase di replicazione. Responsabile di una delle più violente tra le patologie emergenti, questo membro della famiglia dei Filoviridae si riproduce all'interno della cellula ospite formando una sorta di fuso (*al centro*) da cui vengono rilasciate le nuove particelle virali.

COME SI REPLICA UN VIRUS

Che siano o meno «tecnicamente» vivi, i virus mostrano senza dubbio una delle proprietà tipiche delle forme viventi: la capacità di riprodursi, sia pure con l'aiuto di una cellula ospite. La figura mostra una delle modalità di replicazione virale: in particolare, si riferisce a un virus il cui genoma è composto da DNA a doppio filamento. Il processo con cui si replicano i fagi (virus che infettano batteri, organismi che non hanno il nucleo), i virus a RNA e i retrovirus presenta qualche differenza rispetto a questo, ma si tratta però di semplici variazioni dello stesso tema.



Bryan Christie

IN SINTESI

- I virus sono parassiti che costeggiano il confine tra vita e materia inerte. Possiedono lo stesso tipo di proteine e le stesse molecole di acidi nucleici delle cellule viventi, delle quali hanno però bisogno per replicarsi e diffondersi.
- I ricercatori discutono da decenni se i virus siano da considerarsi vivi o meno. Questo dibattito ha fatto trascurare un punto più importante: i virus hanno giocato un ruolo di assoluto primo piano nell'evoluzione.
- Numeri enormi di virus si stanno replicando di continuo, mutando il proprio genoma, un processo che produce molti nuovi geni. Un gene nuovo, dotato di una funzione utile, talvolta può essere incorporato nel genoma di una cellula ospite e diventarne parte integrante.

prio genoma. Poi le nuove particelle virali si assemblano e il gioco è fatto: si formano nuovi virus che possono, a loro volta, infettare altre cellule.

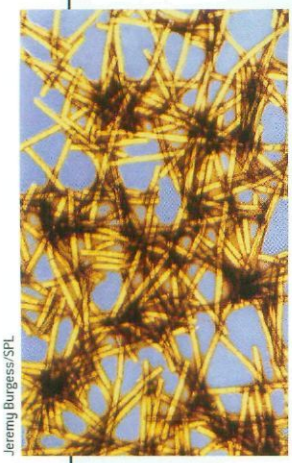
Questo comportamento ha indotto molti scienziati a pensare ai virus come esseri al confine tra la chimica inorganica e la vita. In maniera più poetica, di recente i virologi Marc H. V. van Regenmortel, dell'Università di Strasburgo in Francia, e Brian W. J. Mahy, dei Centers for Disease Control and Prevention americani, hanno affermato che i virus, in virtù della loro dipendenza dalle cellule ospiti, conducono «una sorta di vita in prestito». È interessante sottolineare che i biologi, pur favorendo a lungo l'ipotesi che i virus fossero semplici contenitori di molecole, abbiano sfruttato l'attività virale nella cellula ospite per determinare in che modo gli acidi nucleici codificano per le proteine. In realtà, la biologia molecolare moderna poggia su una mole di informazioni ottenute grazie allo studio dei virus.

I biologi molecolari hanno continuato a cristallizzare la maggior parte delle componenti fondamentali delle cellule e oggi sono abituati a considerare le diverse strutture che formano una cellula – quali, per esempio, i ribosomi, i mitocondri, le membrane, il DNA e le proteine – come apparati di natura chimica o come gli elementi che quegli apparati utilizzano o producono. Il contatto frequente con le molteplici strutture chimiche complesse che svolgono i processi vitali spiega, probabilmente, come mai la maggior parte dei biologi molecolari non spenda molto tempo ad arrovellarsi intorno al quesito se i virus siano vivi o meno. Ai loro occhi, un simile esercizio equivale a riflettere sul fatto che le singole subunità cellulari siano dotate o meno di vita autonoma. Questo approccio miope permette loro di scorgere

VIRTUOSISMI VIRALI

Poiché occupano una terra di nessuno, una sorta di zona grigia a cavallo tra vivente e non vivente, i virus sono in grado di compiere alcune notevoli prodezze.

Prendiamo questa, per esempio: benché in condizioni normali i virus si replichino solo nelle cellule vive, essi possiedono anche la capacità di moltiplicarsi, o «crescere», nelle cellule morte, e addirittura di riportarle in vita. Ancor più sorprendente è che alcuni virus, dopo essere stati distrutti, possono addirittura fare un passo indietro e recuperare la loro «vita in prestito».



Jeremy Burgess/SPL

Virus del mosaico del tabacco.

Una cellula il cui DNA nucleare è stato distrutto è morta. Senza quel DNA, essa non ha più le istruzioni genetiche che le permettono di sintetizzare le proteine di cui ha bisogno, e di riprodursi.

Ma un virus può sfruttarne l'apparato cellulare rimasto nel citoplasma residuo per replicarsi. In altre parole, può indurre le strutture cellulari a usare i propri geni come guida per assemblare proteine virali e replicare il proprio genoma. Questa capacità dei virus di crescere in un ospite morto è particolarmente evidente nei loro ospiti unicellulari, molti dei quali vivono negli oceani. (In realtà, sul nostro pianeta vive un numero incredibile di virus: secondo alcune stime recenti, gli oceani ospiterebbero qualcosa come 10^{30} particelle virali, o all'interno di cellule ospiti oppure libere di fluttuare in modo indipendente).

Nel caso dei batteri, ma anche dei cianobatteri fotosintetici e delle alghe, spesso l'ospite cellulare viene ucciso quando i raggi ultravioletti (UV) provenienti dal Sole ne distruggono il DNA nucleare. Alcuni virus che colonizzano queste cellule contengono o codificano per degli enzimi che riparano diversi tipi di molecole cellulari, riportando la cellula ospite in vita. I cianobatteri, per esempio, contengono un enzima che funziona come centro fotosintetico ma che può essere distrutto da una quantità eccessiva di luce.

Quando questo si verifica, la cellula muore, poiché non è più in grado di effettuare la fotosintesi e, di conseguenza, neppure di svolgere le normali funzioni metaboliche. Tuttavia, i virus chiamati cianofagi codificano per una propria versione dell'enzima fotosintetico batterico: e la versione virale è molto più resistente ai raggi UV. Se questi virus infettano una cellula morta da poco, l'enzima fotosintetico virale può subentrare a quello dell'ospite ormai perduto, in un processo che potremmo paragonare a una sorta di terapia genica salvavita per la cellula.

Un eccesso di luce ultravioletta, però, può distruggere anche i cianofagi. Infatti, l'inattivazione mediata da UV è un metodo comunemente usato nei laboratori per distruggere i virus. Tuttavia, talvolta essi possono riacquistare forma e funzione. Questa specie di resurrezione si verifica mediante un processo conosciuto col nome di *multiplicity reactivation*, o riattivazione multipla.

Si tratta di questo: se una singola cellula ospita più di un virus difettoso, il genoma virale può letteralmente ricostituirsi a partire dalle singole parti. In effetti, è proprio questa capacità di riassemblarsi che permette ai ricercatori di creare virus ricombinanti artificiali in laboratorio.

Le diverse parti del genoma talvolta possono anche fornire geni isolati, che agiscono di concerto (un fenomeno chiamato complementazione) per ristabilire la piena funzionalità senza necessariamente riformare un virus completo o autonomo. I virus sono le uniche entità biologiche che conosciamo a essere dotate di questo «fenotipo dell'Araba Fenice», cioè della capacità di risorgere dalle proprie ceneri.

solamente il meccanismo con cui i virus cooptano le cellule o provocano una malattia. Alla domanda più generale relativa a quale sia stato il loro reale contributo alla storia della vita sulla Terra – domanda che affronterò fra breve – non è stata ancora data per lo più alcuna risposta, e addirittura neppure una formulazione vera e propria.

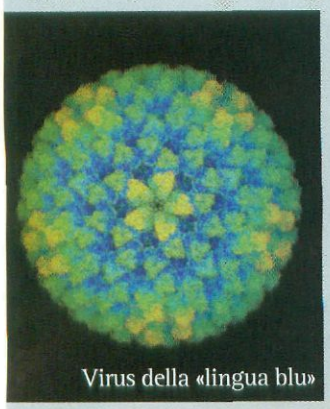
Essere o non essere

La domanda, in apparenza semplice, che i miei studenti mi pongono spesso – se i virus sono vivi oppure no – probabilmente ha messo a dura prova una risposta semplice nel corso di tutti questi anni, perché solleva un punto di fondamentale importanza: che cos'è, di preciso, che definisce la «vita»? Il concetto di «vita» sfugge a una precisa definizione scientifica; tuttavia, la maggior parte di coloro che sono coinvolti in tale dibattito non avrà dubbi nel concordare che l'idea di vita comprende alcune qualità precise, oltre alla capacità di un organismo di replicarsi. Un'entità vivente, per esempio, si trova in uno stato i cui limiti estremi sono dati dalla vita e dalla morte. Anche per gli organismi viventi si ritiene sia necessario un certo grado di autonomia biochimica, che svolga le attività metaboliche da cui si originano sia le molecole che l'energia necessaria a sostenere l'organismo. Questo livello di autonomia risulta essenziale per molte definizioni.

In ogni caso, i virus conducono un'esistenza parassitica nei confronti, essenzialmente, di tutti gli aspetti biomolecolari della vita. In altre parole, dipendono dalla cellula ospite per quanto riguarda le componenti essenziali e l'energia necessaria alla sintesi degli acidi nucleici, per la sintesi proteica, per l'assemblaggio delle diverse unità e il loro trasporto, ma anche per tutte le altre attività di natura biochimica che consentono loro di moltiplicarsi e di diffondersi nell'organismo. Ma allora, si potrebbe concludere che, sebbene questi processi siano soggetti a direttive di origine virale, i virus sono semplicemente dei parassiti inanimati dei sistemi metabolici viventi. Tuttavia, fra ciò che è senz'alcun dubbio vivo e ciò che altrettanto inequivocabilmente non lo è, esiste una gamma di situazioni intermedie.

Una roccia non è viva. Neppure una membrana metabolicamente attiva, privata del suo corredo genetico e della capacità di propagarsi, lo è. Un batterio, invece, è decisamente vivo: nonostante sia un organismo unicellulare, è in grado di pro-

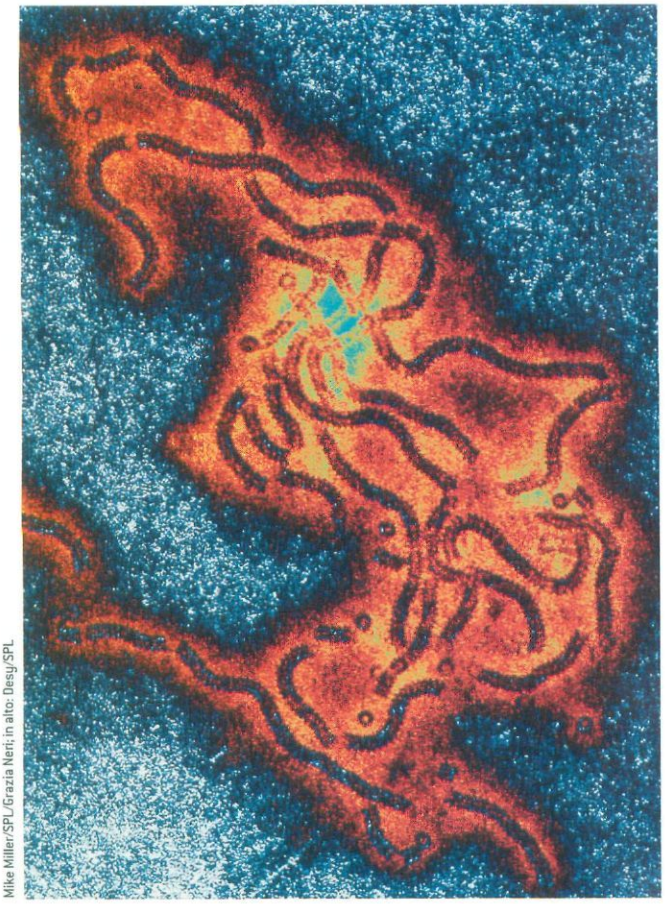
CHE COSA C'È DIETRO LE PAROLE?



Virus della «lingua blu»

Vita e _vivente_ sono parole che la scienza ha preso in prestito dall'uomo della strada. Il prestito ha funzionato in maniera soddisfacente fino a tempi relativamente recenti, e questo perché gli scienziati se ne sono preoccupati assai poco, e di certo non hanno mai capito perfettamente che cosa intendesse con quelle parole l'uomo comune, che peraltro non lo sapeva bene neanche lui. Ora, tuttavia, stiamo scoprendo e studiando sistemi che non sono né chiaramente viventi, né chiaramente inanimati. Perciò è necessario definire questi termini, oppure rinunciare a usarli e coniarne degli altri.

Circa 1934 – Norman Pirie, Regno Unito, virologo



Mike Miller/SPL/Grazia Neri; in alto: Desy/SPL

FAMIGLIE PERICOLOSE. Sopra, il virus della parotite, che appartiene alla famiglia dei Paramyxoviridae, tra i più importanti patogeni umani.

L'AUTORE

LUIS P. VILLARREAL dirige il Center for Virus Research all'Università della California a Irvine. Nato a Los Angeles, ha conseguito il dottorato in biologia all'Università della California a San Diego, e ha svolto ricerche in qualità di post-doc in virologia alla Stanford University con il premio Nobel Paul Berg. È molto attivo sul fronte didattico ed è stato insignito del National Science Foundation Presidential Award per la sua attività tutoriale. Dopo essere diventato direttore a Irvine, Villarreal ha messo a punto programmi per lo sviluppo rapido di sistemi di difesa contro la minaccia del bioterrorismo.

durre energia, molecole necessarie al proprio sostentamento, e anche di riprodursi.

Ma che dire di un seme? Potremmo anche non considerarlo vivo, eppure, in questo suo stato non vitale, esso mantiene il potenziale da cui può sgorgare la vita, un potenziale che il seme possiede come risultato di qualcosa che, un tempo, era inequivocabilmente vivo. Inoltre, i semi possono essere distrutti. Per questo aspetto, i virus somigliano ai semi più di quanto non somiglino alle cellule viventi: possiedono un certo potenziale che può essere spento, ma non raggiungono alcuna condizione di vita più autonoma.

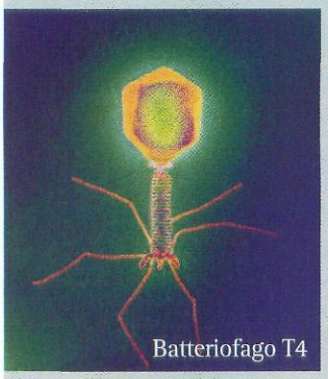
Un altro modo di concepire la vita è considerarla alla stregua di una proprietà imprevista di un insieme di elementi indubbiamente non viventi. Sia la vita che la coscienza sono esempi di sistemi complessi imprevisti, ciascuno dei quali, per raggiungere il proprio stato, richiede la presenza di un livello critico di complessità o di interazione. Un neurone, isolato o persino all'interno di una rete nervosa, non è consapevole: perché ci sia consapevolezza deve essere presente la complessità del cervello intero. E tuttavia, anche un cervello umano intatto può essere biologicamente vivo ma incapace di consapevolezza, in quella condizione che conosciamo con il nome di «coma». Analogamente, di per sé non sono vivi né i geni cellulari isolati, né quelli virali né tantomeno le proteine. La cellula enucleata è analoga allo stato di morte cerebrale, in quanto priva di una complessità critica complessiva. Neppure un virus è in grado di raggiungere una complessità critica. Dunque, la vita stessa è una condizione imprevista e complessa, che, tuttavia, è composta dagli stessi elementi basilari essenziali che formano un virus. Visti in quest'ottica, dunque, e sebbene non siano completamente vivi, i virus possono essere considerati più che semplice materia inerte: tendono alla vita.

L'impatto sull'evoluzione

Le discussioni che hanno per oggetto la possibilità di attribuire ai virus lo *status* di viventi suscitano spontaneamente un'altra domanda: la riflessione sullo stato dei virus – sono esseri viventi o non viventi – va al di là di un semplice esercizio filosofico? è la base di un dibattito retorico vivace e acceso ma con poche conseguenze reali? Personalmente ritengo che questo punto *sia importante*, perché il modo in cui gli scienziati affrontano questo problema influenza i loro ragionamenti sui meccanismi dell'evoluzione.

I virus possiedono una storia evolutiva personale antica, che risale proprio alle origini della vita cellulare. Per fare un esempio: alcuni enzimi cui spetta il compito di riparare il genoma virale – che excidono e risintetizzano frammenti di DNA danneggiato, riparano i danni provocati dai radicali dell'ossigeno e altre attività analoghe (*si veda il box nella pagina a fronte*) – sono

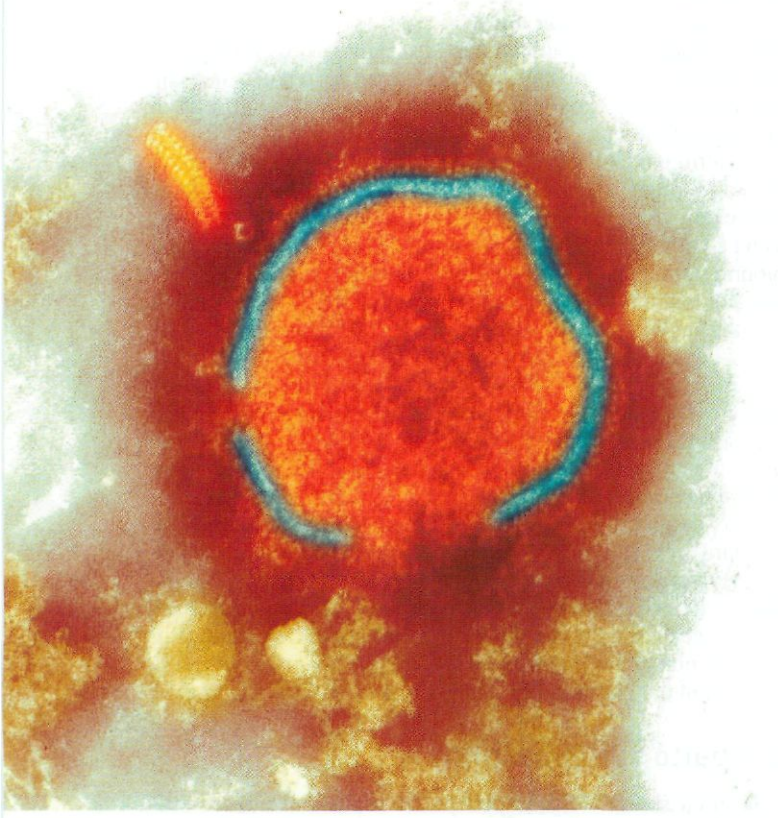
Distratti dalle cellule


Batteriofago T4

Per quasi un secolo, l'attenzione dei biologi è stata distratta dal dibattito sulla natura vivente o meno dei virus. Il disaccordo deriva in gran parte dalla generalizzazione, proposta nella seconda metà del XIX secolo, che vedeva nelle cellule le componenti fondamentali di tutte le forme di vita. In base a questa logica, i virus, essendo più semplici delle cellule, non possono essere organismi viventi. Un punto di vista che sarebbe corretto liquidare come una specie di cane semantico che si morde la coda del dogma.

2000 – Paul Ewald, Stati Uniti, biologo evoluzionista

PROFESSIONISTI DEL CONTAGIO. Nella micrografia in basso, il virus del morbillo, responsabile di una delle malattie dell'infanzia più contagiose. Trasmesso da persona a persona attraverso la saliva, il virus può causare gravi complicanze, come la polmonite, o l'encefalite, che colpisce un bambino su 1000. In alto nella pagina a fronte, particelle di coronavirus (*in giallo*), una famiglia di patogeni che causa raffreddori e gastroenteriti.


NIBSC/SPL/Grazia Neri; in alto: Jeremy Burgess/SPL

PER APPROFONDIRE

EIGEN M., *La quasispecie virale*, in «Le Scienze», n. 301, settembre 1993.

VILLARREAL L. P., *DNA Virus Contribution to Host Evolution*, in *Origin and Evolution of Viruses*, E. Domingo e altri (a cura), Academic Press, 1999.

DEFILIPPIS V. e VILLARREAL L. P., *Lateral Gene Transfer or Viral Colonization?*, in «Science», Vol. 293, p. 1048, 10 agosto 2001.

VILLARREAL L. P., *Viruses and the Evolution of Life*, ASM Press (*in stampa*).

Per approfondire la virologia sul web: www.virology.net.

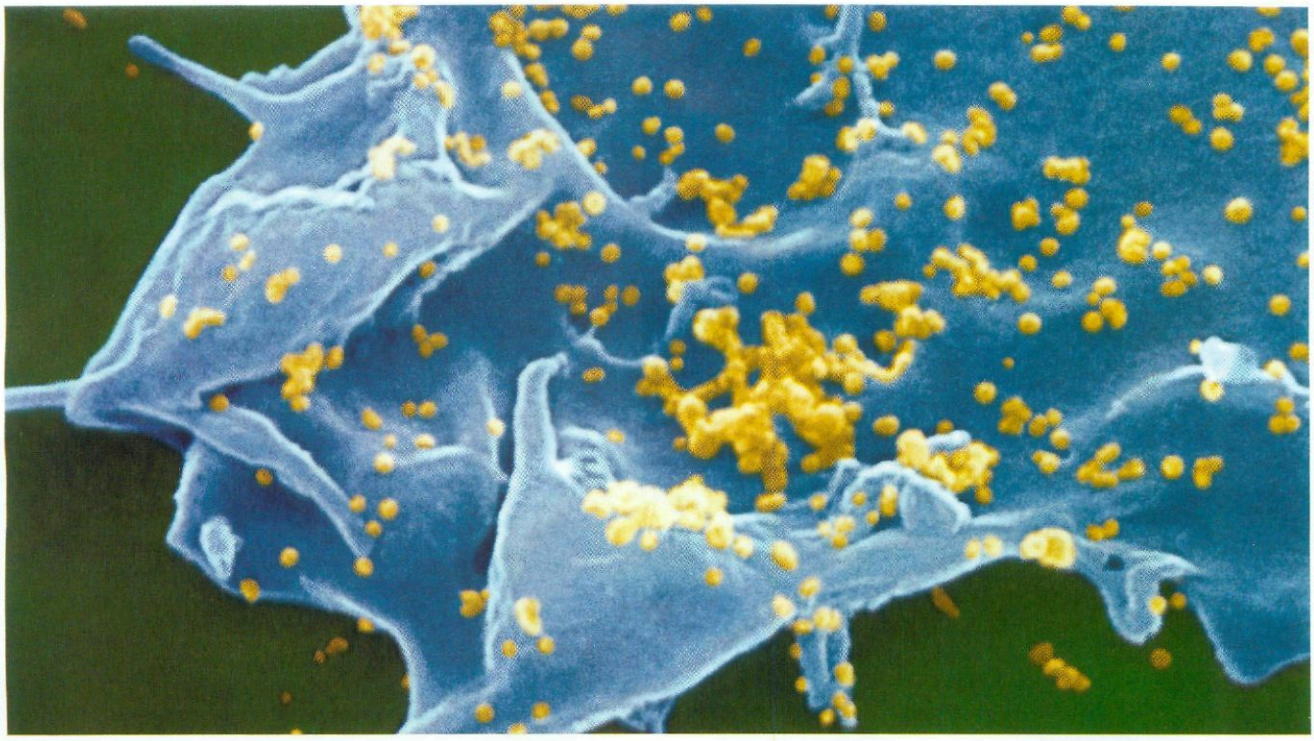
specifici di certi virus ed esistono pressoché inalterati probabilmente da miliardi di anni.

Nondimeno, la maggior parte dei biologi evoluzionisti sostiene che, poiché i virus non sono vivi, non vale la pena prenderli seriamente in considerazione quando si cerca di comprendere l'evoluzione. Inoltre, questi scienziati ritengono che i virus siano in realtà i geni dell'ospite che, chissà come, sono riusciti a sottrarsi alla cellula acquisendo un involucro proteico. In quest'ottica, i virus sarebbero geni cellulari fuggiaschi degenerati sino a diventare parassiti. Così, allontanando i virus dalla rete della vita, è probabile che non vengano riconosciuti i contributi importanti che tali organismi potrebbero aver apportato all'origine delle specie e al mantenimento della vita. (In effetti, delle 1205 pagine di cui è composto il rapporto annuale 2002 *The Encyclopedia of Evolution*, solo quattro sono quelle dedicate ai virus).

Naturalmente, i biologi evoluzionisti non negano che i virus abbiano avuto qualche ruolo nell'evoluzione, ma considerandoli inanimati, questi ricercatori li collocano sul medesimo piano di eventi come, per esempio, i cambiamenti climatici. Tali eventi esterni operano una selezione fra individui che possiedono tratti diversi geneticamente controllati: quelli che si rivelano maggiormente capaci di sopravvivere e prosperare quando sono messi di fronte a simili sfide continuano a riprodursi con il massimo successo, e perciò trasmettono i propri geni alle generazioni future.

I virus, però, scambiano le informazioni genetiche direttamente con gli organismi viventi, cioè all'interno della rete stessa della vita. È probabile che per la maggioranza dei medici e, forse, anche per la maggioranza dei biologi evoluzionisti risulti sorprendente il fatto che la maggior parte dei virus che oggi conosciamo è tenace e innocua, ma non patogena. I virus si insediano all'interno delle cellule dove possono rimanere a lungo in uno stato quiescente, oppure sfruttare l'apparato di replicazione cellulare per riprodursi a un ritmo lento e costante. Questi virus hanno messo a punto numerose e astute strategie per evitare di essere individuati dal sistema immunitario; sostanzialmente, ciascuna delle fasi che costituiscono la risposta immunitaria può essere modificata o controllata da geni diversi presenti in questo o quel virus.

Per di più, il genoma del virus (il complesso del suo DNA o RNA) può colonizzare in modo permanente l'ospite, aggiungendo geni virali al patrimonio cellulare e diventando, alla fine, una componente critica del genoma della specie ospite. Perciò, non vi è dubbio che i virus abbiano effetti assai più rapidi e più diretti di quelli esercitati da forze esterne che si limitano a operare una selezione fra variazioni genetiche interne prodotte più lentamente. Le dimensioni della popolazione virale, assieme al rapido tasso con cui questi organismi si replicano e mutano, fanno di loro la fonte principale di innovazione genetica al mondo: i virus «inventano» di continuo nuovi geni, e varianti uniche di



Steve Patterson/SPL/Grazia Neri

geni virali possono viaggiare, andando a inserirsi in altri organismi e contribuendo ai cambiamenti evolutivi.

I dati pubblicati dal Consorzio internazionale per il sequenziamento del genoma umano indicano che un numero imprecisato di geni presenti sia nei batteri sia nel genoma umano, numero che si stima essere compreso tra 113 e 223, non è presente nel genoma di organismi assai ben studiati come il lievito *Saccharomyces cerevisiae*, il moscerino della frutta *Drosophila melanogaster* e il verme nematode *Caenorhabditis elegans*, organismi situati a metà dei due estremi evolutivi poc'anzi citati. Alcuni ricercatori credevano che questi organismi, sviluppatisi dopo i batteri ma prima dei vertebrati, avessero semplicemente perduto i geni in questione in un momento non precisato della loro storia evolutiva. Altri, invece, ipotizzavano che questi geni fossero stati trasferiti direttamente al lignaggio umano da parte di batteri invasori.

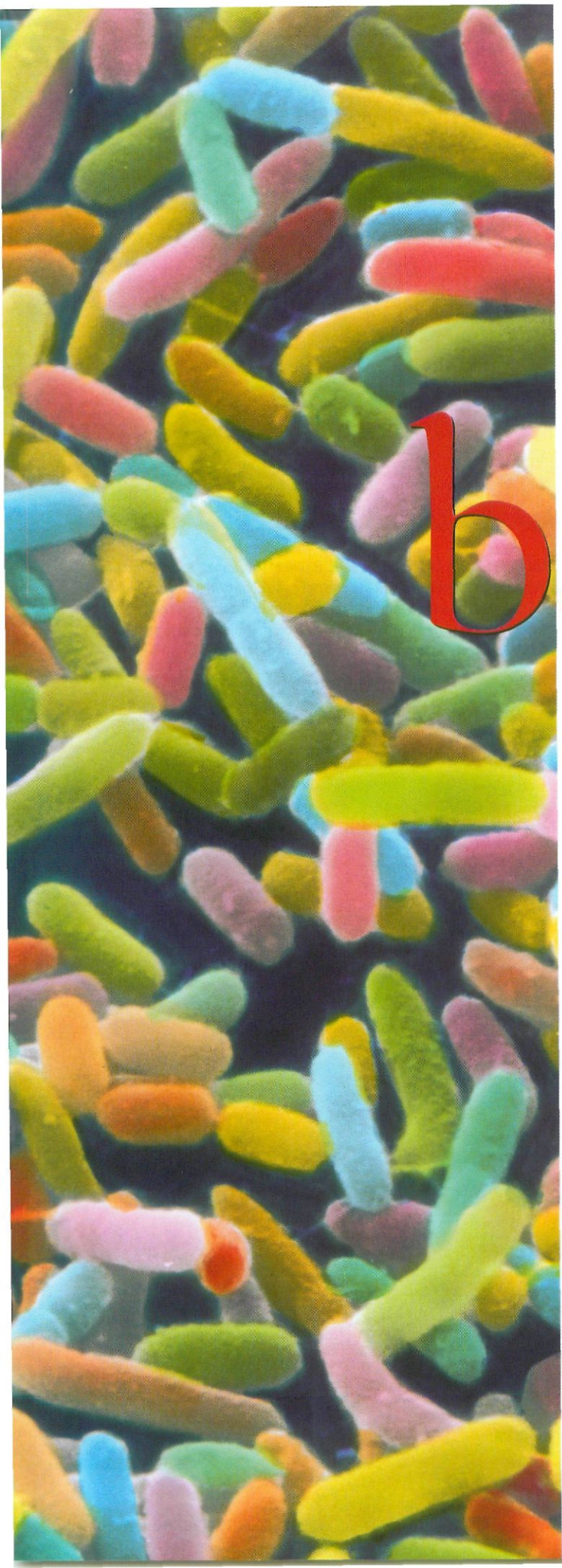
Io e il mio collega Victor DeFilippis, del Vaccine and Gene Therapy Institute della Oregon Health and Science University, abbiamo invece avanzato una terza proposta. Secondo noi, è possibile che i virus producano dei geni che possono colonizzare due lignaggi differenti: per esempio, batteri e vertebrati. Quello che, all'apparenza, è un gene elargito all'umanità dai batteri, potrebbe in realtà essere stato dato a entrambi da un virus.

Infatti, Philip Bell della Macquarie University di Sydney (in Australia), io e altri sosteniamo che il nucleo cellulare stesso ha un'origine virale. La comparsa del nucleo – che contraddistingue gli organismi eucarioti (le cellule dei quali sono dotate di un vero e proprio nucleo), tra cui anche l'uomo, dai procarioti come i batteri – non può essere spiegata in modo soddisfacente invocando esclusivamente un processo di adattamento graduale delle cellule procarioti che, a poco a poco, sono diventate eucarioti. Piuttosto, è possibile che il nucleo si sia evoluto a partire da un virus a DNA tenace e di notevoli dimensioni, che si è insediato in modo permanente all'interno dei procarioti.

A parziale sostegno di questa ipotesi ci sono i dati ottenuti dal sequenziamento, che dimostrano come il gene per una DNA polimerasi (un enzima che copia il DNA) presente nel virus chiamato T4, un virus che infetta i batteri, sia strettamente imparentato ad altri geni che codificano per la DNA polimerasi, sia negli eucarioti che nei virus che li infettano. Anche Patrick Forterre dell'Università di Parigi-Sud ha analizzato degli enzimi responsabili della replicazione del DNA, giungendo alla conclusione che, negli eucarioti, anche i geni per tali enzimi hanno probabilmente un'origine virale. Lo scorso ottobre, il ricercatore francese Didier Raoult assieme ai suoi colleghi della Mediterranean University di Marsiglia ha presentato pubblicamente la sequenza del genoma del più grande virus conosciuto, il mimivirus, che è addirittura più grande di alcuni batteri. Al suo interno i ricercatori hanno individuato dei geni che in precedenza si pensava esistessero solamente negli organismi effettivamente viventi. Come ha fatto notare Raoult, «le dimensioni e la complessità del genoma del mimivirus mettono a dura prova quelli che sono i confini ormai consolidati tra virus e organismi che si comportano da parassiti cellulari».

Dagli organismi unicellulari alle popolazioni umane, i virus interessano tutte le forme di vita che popolano la Terra, e spesso determinano quale di esse sopravviverà. Tuttavia, anche i virus stessi si evolvono. È probabile che nuove varietà virali, come il virus HIV-1 responsabile dell'AIDS, siano le uniche entità biologiche della cui nascita i ricercatori sono stati effettivi testimoni. Un evento, questo, che fornisce un esempio *in tempo reale* dell'evoluzione in azione.

I virus sono importanti per la vita: costituiscono il confine in continuo divenire fra la sfera biologica e quella biochimica. Mano a mano che continuiamo a decifrare i genomi di un numero sempre maggiore di organismi, dovrebbe diventare sempre più evidente il contributo che proviene da questo *pool* genico dinamico e antico. Già nel 1959, il premio Nobel Salvador Luria rifletteva sull'influenza che i virus riescono a esercitare sull'evoluzione. «È possibile che non riusciamo a percepire – scriveva – che nei virus e nella loro fusione con il genoma cellulare da cui poi riemergono, osserviamo le unità e il processo che, nel corso dell'evoluzione, hanno creato gli schemi genetici vincenti che stanno alla base di tutte le cellule viventi?». In ogni caso, che li si voglia considerare organismi viventi o meno, è giunto il momento di riconoscere e di studiare i virus all'interno del loro contesto naturale: nella rete della vita. LS



NIBSC/SPL/Grazia Neri

La vita sociale dei batteri

Considerati microrganismi solitari fino a pochi anni fa, i batteri stanno rivelando complessi sistemi di comunicazione

di Cristina Valsecchi

Fino alla fine degli anni ottanta, i batteri non godevano di una grande reputazione. Gli esperti li consideravano cellule solitarie, intente solo a nutrirsi e replicarsi, incapaci di comunicare e interagire tra loro. Negli ultimi 15 anni, però, una serie di scoperte inaspettate ha rivelato una realtà completamente diversa: tutt'altro che organismi primitivi, i batteri dialogano tra loro per mezzo di un sofisticato linguaggio chimico, nell'ambito della stessa specie e, a volte, tra specie diverse. Elaborano strategie di gruppo per far fronte a situazioni critiche come un ambiente ostile, la scarsità di risorse, la concorrenza di altri microrganismi o, nel caso dei batteri patogeni, per attaccare in modo più efficiente l'organismo ospite neutralizzando le sue difese immunitarie.

«Il loro alfabeto è composto da piccole molecole-segnale – spiega Vittorio Venturi, coordinatore del gruppo di batteriologia dell'International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology (ICGEB) di Trieste – prodotte all'interno della cellula e liberate nell'ambiente circostante attraverso la membrana. Al crescere della densità dei batteri nell'ambiente, la concentrazione delle molecole-segnale aumenta. Ciascun batterio della stessa specie o di specie in grado di comunicare è dotato di una sorta di interruttore, una proteina che si attiva quando la concentrazione del segnale chimico supera una certa soglia e induce o silenzia l'espressione di uno o più geni. Questo meccanismo, che permette ai batteri di percepire la presenza dei loro simili e di valutarne la densità, prende il nome di *quorum sensing*.»

A seconda delle specie e delle condizioni ambientali, il quorum sensing regola le più disparate funzioni dei batteri: dallo scambio di materiale genetico sotto forma di plasmidi, piccole molecole di DNA autoreplicanti a forma di anello, alla mobilità delle cellule; dalla formazione di biofilm, complesse colonie stratificate di microrganismi, alla produzione dei fattori di virulenza, un arsenale di sostanze tossiche che degradano i tessuti dell'organismo ospite.

Strategie di attacco

«Un esempio che chiarisce l'importanza di studiare la comunicazione e le strategie di gruppo dei batteri è quello di *Pseudomonas aeruginosa* e *Burkholderia cepacia*, microrganismi opportunisti che colonizzano i tessuti polmonari dei pazienti affetti da fibrosi cistica – dice Venturi – I batteri delle due specie comunicano e cooperano tra loro. Non manifestano virulenza nei confronti dell'ospite prima di aver raggiunto una determinata densità. Formano un biofilm, una colonia mista resistente ai farmaci, estremamente difficile da eradicare. Solo a questo punto sferrano il loro attacco contro i tessuti polmonari con la secrezione di enzimi proteolitici e tossine che provocano danni estesi e gravi.»

Altri esempi vengono dal mondo vegetale. «Il batterio *Erwinia carotovora* colonizza le foglie del tabacco e secerne enzimi che ne provocano la macerazione», spiega Venturi, «ma solo quando la densità dei microrganismi supera una certa soglia. Per studiare il rapporto tra il quorum sensing e la macerazione delle foglie sono state messe a punto varietà transgeniche di tabacco che degradano le molecole usate dai batteri per comunicare. In mancanza del segnale che avverte i microrganismi della presenza dei loro simili, *Erwinia carotovora* non manifesta virulenza nei confronti della pianta ospite e le foglie del tabacco transgenico non vengono distrutte neppure quando sono interamente colonizzate dal batterio.»

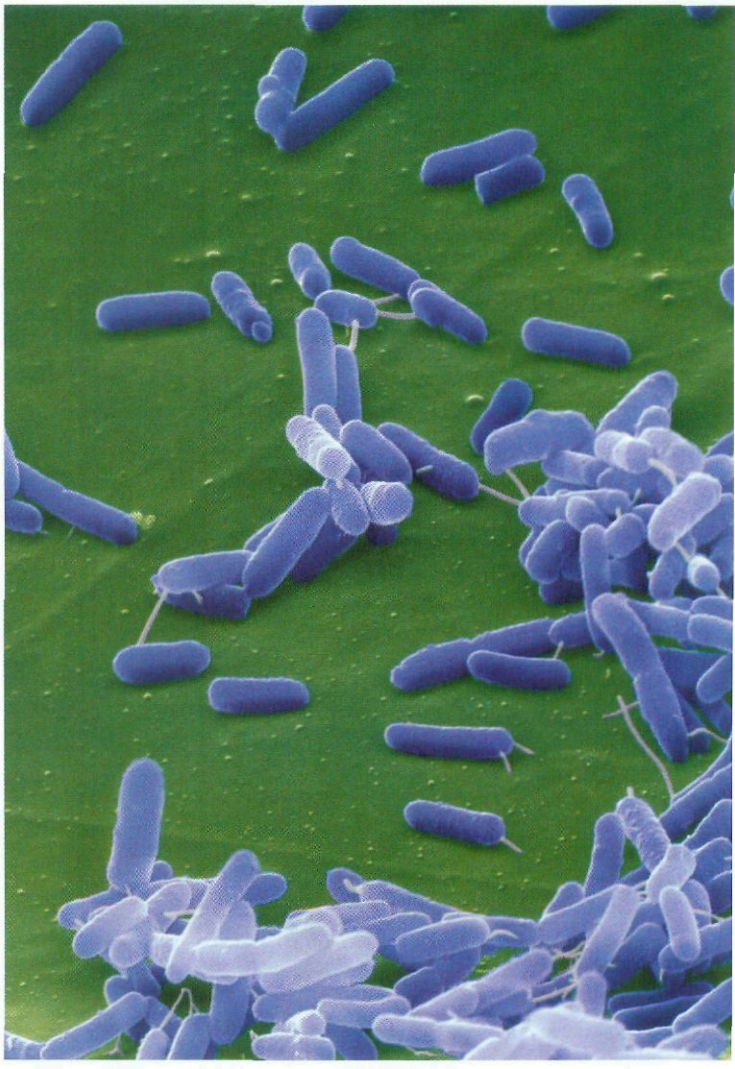
Burkholderia cepacia non attacca solo l'uomo. Come dice il nome (in latino *cepa* vuol dire cipolla) è un noto patogeno della cipolla. «Attualmente, nei nostri laboratori di Trieste, stiamo studiando gli effetti sulla cipolla di ceppi mutati di *Burkholderia cepacia*, privi dei geni responsabili della produzione delle molecole-segnale», dice il microbiologo.

Una scoperta illuminante

La storia della scoperta del quorum sensing ha inizio nel 1968, con la pubblicazione sulla rivista americana «Journal of Bacteriology» di uno studio condotto su *Vibrio fischeri*, un batterio marino luminescente, che vive in simbiosi con alcune specie di calamari.

Nell'acqua marina, dove è presente in bassa concentrazione (dell'ordine di un centinaio di cellule per millilitro), *Vibrio fischeri* non emette luce. All'interno degli organi luminescenti dei calamari, invece, il batterio raggiunge una concentrazione di

MOLTE SPECIE DI BATTERI FORMANO BIOFILM (*qui sopra, in un'immagine artistica*), strutture stratificate che nel caso di batteri patogeni manifestano una notevole resistenza ai farmaci. Sotto, una colonia di *Pseudomonas aeruginosa*, che crea biofilm «misti» con la specie *Burkholderia cepacia* provocando infezioni del tratto respiratorio.



IN CALIFORNIA INSEGNANO AI BATTERI A PARLARE NUOVE LINGUE

Studiare il linguaggio chimico usato dai batteri non è che il primo passo. Un gruppo di ricercatori dell'Università della California a Los Angeles ha «insegnato» a un ceppo di *Escherichia coli* a comunicare servendosi di un nuovo messaggero, l'acetato, una sostanza prodotta normalmente dal batterio come scarto metabolico.

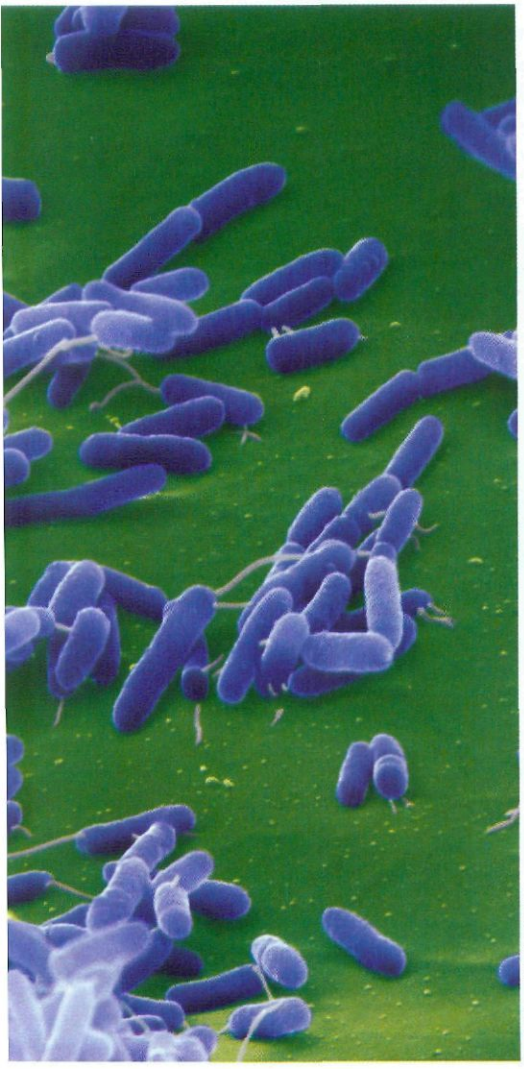
James Liao e i suoi colleghi hanno descritto l'esperimento pochi mesi fa sulle pagine dei «Proceedings of the National Academy of Sciences». Hanno introdotto nel DNA di un ceppo di *Escherichia coli* un modulo formato da geni controllori che, a contatto con l'acetato, attivano la produzione di proteine bioluminescenti.

Il batterio così manipolato emette luce quando percepisce la presenza di altri batteri della stessa specie. Modificando il grado di acidità della soluzione in cui vengono coltivati i microrganismi, varia la soglia di risposta del sistema. Se l'ambiente è acido, è sufficiente la presenza di poche cellule di *Escherichia coli* per indurre la luminescenza. Se invece l'ambiente ha un basso grado di acidità, occorre una densità maggiore di batteri per indurre la reazione.

Microrganismi mutanti come l'*Escherichia coli* di James Liao potrebbero essere utilizzati come cavalli di Troia. Basterebbe collegare l'interruttore molecolare che riconosce l'acetato a un gene che sintetizza una tossina e introdurre i batteri mutanti in una colonia di *E. coli* naturale. In presenza di un'elevata concentrazione di batteri, il microrganismo manipolato si attiverebbe uccidendo gli altri.

Il risultato dei ricercatori californiani è un passo avanti sulla strada della biologia sintetica, un settore di studio che si propone di programmare la fisiologia e il comportamento di cellule e microrganismi introducendo nuovi geni nel loro DNA e alterando i loro processi metabolici. Finora, gli esperimenti effettuati riguardavano singoli batteri. La comprensione dei meccanismi di quorum sensing e del sistema di comunicazione tra cellule consente il controllo di fenomeni più complessi.

In futuro i batteri manipolati potrebbero reagire a una serie di stimoli non necessariamente chimici, per esempio a variazioni della temperatura ambientale, al contatto fisico, alla luce o alla densità del mezzo di coltura, comportandosi di fatto come sensori biologici e microscopici robot programmabili.



Egeaf Science/SPL/Grazia Neri

Stuart Westmorland/Corbis/Contrasto

NELL'ACQUA MARINA, dove si trova in bassa concentrazione, il batterio *Vibrio fischeri* non emette luce. All'interno dell'organismo di alcuni calamari, invece, raggiunge una concentrazione estremamente elevata, conferendo all'animale la tipica bioluminescenza.

miliardi di cellule per millilitro d'acqua e si accende di una luce blu-verdastra.

«Kempner e Hanson, i due autori dello studio, spiegavano il fenomeno ipotizzando l'esistenza di un inibitore, una particolare sostanza presente nel liquido di coltura dei batteri che avrebbe in qualche modo bloccato la produzione delle proteine luminescenti», spiega George Salmond, professore di microbiologia molecolare del Dipartimento di biochimica dell'Università di Cambridge. «Superata una certa soglia di densità, i batteri avrebbero metabolizzato e rimosso l'inibitore, attivando la luminescenza.»

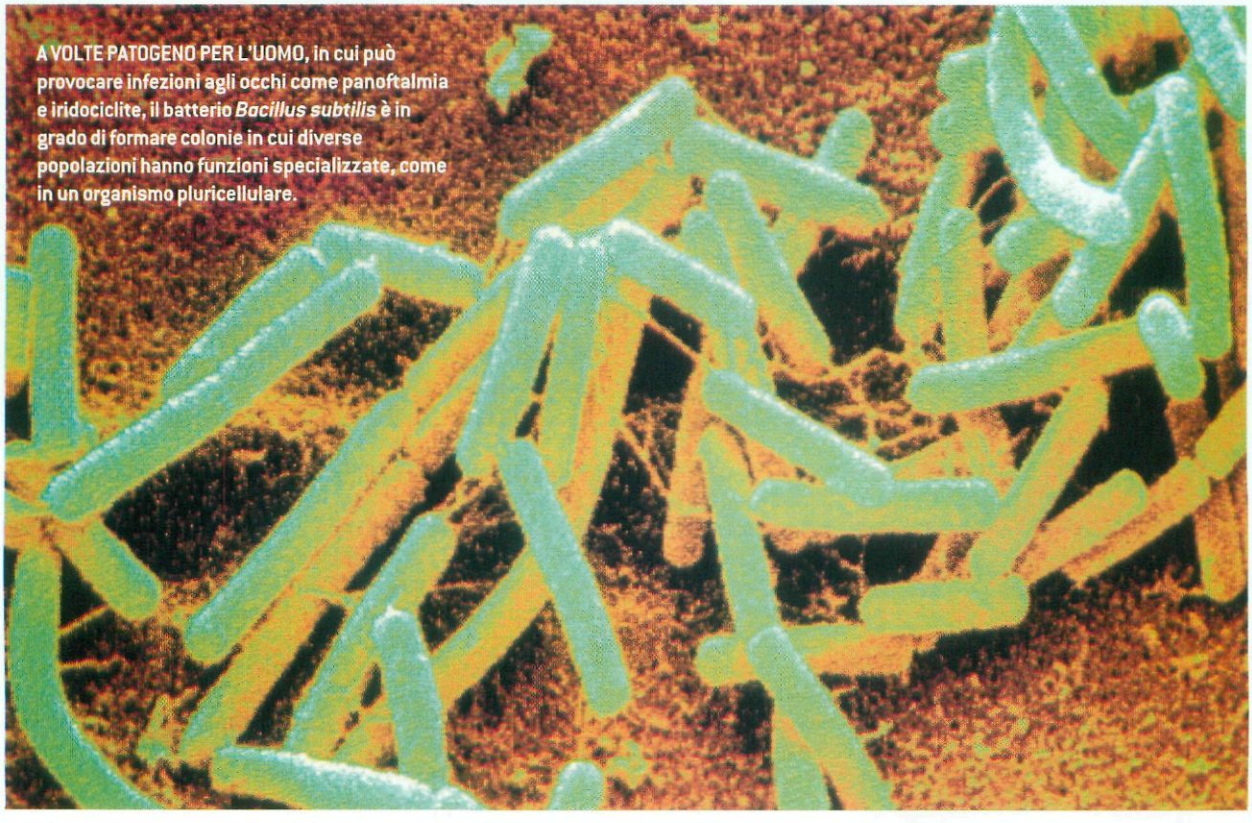
Negli anni successivi, ulteriori esperimenti hanno rivelato che la luminescenza viene indotta non dalla rimozione di un inibitore, ma dalla concentrazione di un attivatore. Nel 1981, il chi-

«Studiamo i batteri da tanto tempo, eppure solo negli ultimi anni ci siamo resi conto del loro complesso comportamento sociale», dice Roberto Kolter, professore di microbiologia e genetica molecolare della Harvard Medical School di Boston. «La ragione sta nel fatto che in laboratorio, coltivati in provetta in un ambiente favorevole, ricco di sostanze nutritive, i batteri si comportano come cellule isolate e indipendenti, non hanno alcun motivo di interagire. È in condizioni difficili che i microrganismi si aggregano, comunicano e fanno fronte comune per assicurare la propria sopravvivenza e riproduzione.»

Kolter e i suoi colleghi sono tra i massimi esperti al mondo di biofilm, colonie di batteri e funghi dotate di un grado di organizzazione a volte estremamente complesso. «In natura, i batteri e i funghi formano biofilm su qualunque superficie: sulle rocce, sulla corteccia degli alberi, sul fondale marino, sulla superficie stagnante dell'acqua, sulla nostra pelle, sullo smalto dei nostri denti e persino sui tessuti che rivestono i nostri organi interni», spiega il microbiologo. «La maggior parte degli agenti patogeni dell'uomo forma biofilm nell'organismo degli ospiti infettati e questa forma di organizzazione offre ai microrganismi una maggiore resistenza all'attacco degli antibiotici e delle difese immunitarie.»

Alcune caratteristiche generali sono comuni a tutti i biofilm. I microrganismi, per esempio, sono ancorati a una sorta di matrice extracellulare formata dai prodotti di scarto del metabolismo dei componenti della colonia e dai resti delle cellule morte. I «condomini» del biofilm comunicano, e lo scambio di informazioni chimiche induce l'attivazione e la disattivazione di geni nel DNA di ciascuno di loro. «Abbiamo individuato geni che si attivano solo nei batteri che fanno parte di un biofilm – spiega Kolter – e altri che si spengono quando l'organismo entra a far parte di una colonia stabile e strutturata, per esempio i geni responsabili della mobilità dell'organismo nell'acqua. Se vive in una struttura stabile, ancorato su una superficie fissa, il batterio non ha alcun bisogno di nuotare.»

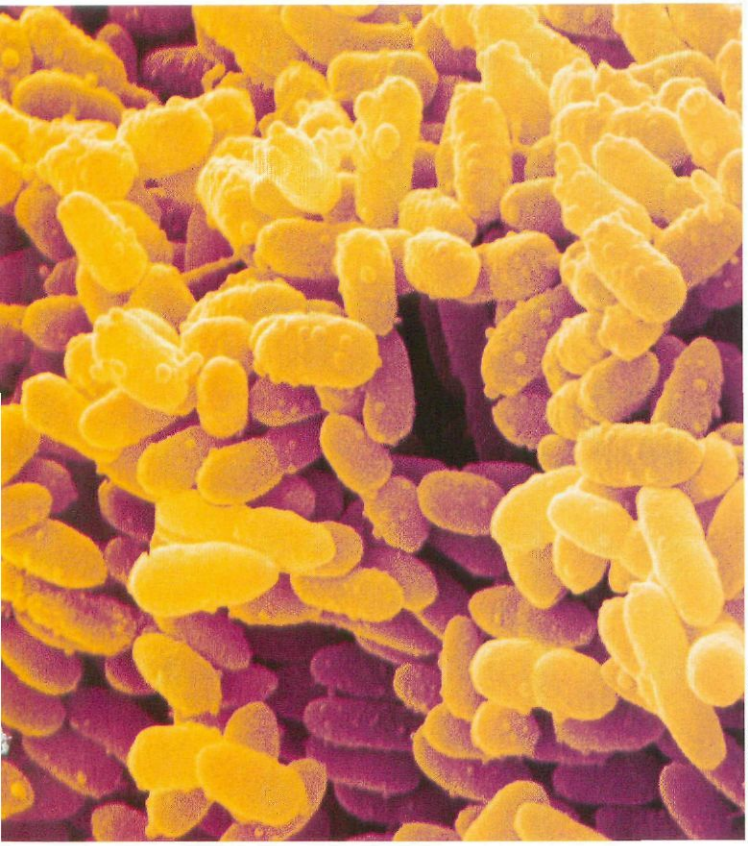
Nei biofilm, i microrganismi unicellulari subiscono trasformazioni che li portano a specializzarsi. La colonia assume le caratteristiche di un organismo pluricellulare. «Prendiamo, per esempio, il caso di *Bacillus subtilis*», prosegue lo scienziato. «Quando l'ambiente è ricco di sostanze nutritive, i batteri vivono come cellule isolate e indipendenti e ognuno produce le spore necessarie per la riproduzione. Se le risorse alimentari scarseggiano, i batteri si raccolgono a formare un biofilm, e soltanto alcune cellule, poste alle estremità della colonia, si specializzano nella produzione di spore, assumendo la funzione di corpi fruttiferi. La specializzazione ha un ruolo importante anche nello sviluppo della resistenza agli antibiotici: i batteri che formano lo strato superiore in un biofilm sono i primi a essere raggiunti dai farmaci. Con opportuni messaggeri chimici, avvertono gli strati sottostanti di microrganismi che hanno il tempo di attivare le difese molecolari sulle membrane cellulari per respingere l'attacco.»



A VOLTE PATOGENO PER L'UOMO, in cui può provocare infezioni agli occhi come panoftalmia e iridociclite, il batterio *Bacillus subtilis* è in grado di formare colonie in cui diverse popolazioni hanno funzioni specializzate, come in un organismo pluricellulare.

Andrew Syred/SPL/Grazia Neri

STRATEGIE DI MASSA. Il batterio *Erwinia carotovora* (*qui sotto*) colonizza le foglie del tabacco e secerne enzimi che ne provocano la macerazione, ma la sua azione si esercita solo quando la densità dei microrganismi supera una certa soglia.



Andrew Syred/SPL/Grazia Neri

Clemson University/USDA Cooperative Extension Slide Series

PER APPROFONDIRE

KEMPNER E. S. e HANSON F. E., *Aspects of light production by Photobacterium fischeri*, in «Journal of Bacteriology», Vol. 95, pp. 975-979, 1968.

WHITEHEAD N. A. e altri, *Quorum sensing in gram-negative bacteria*, in «FEMS Microbiology Review», Vol. 25, pp. 365-404, 2001.

CAMARA M. e altri, *Controlling infection by tuning in and turning down the volume of bacterial small-talk*, in «The Lancet Infectious Diseases», Vol. 2, pp. 667-676, 2002.

BULTER T. e altri, *Design of artificial cell-cell communication using gene and metabolic networks*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 101, pp. 2299-2304, 2004.

mico statunitense di origine turca Anatol Eberhard, dell'Ithaca College di Ithaca, nello Stato di New York, ha isolato e caratterizzato l'attivatore, una piccola molecola della famiglia dei lattoni, costituita da una struttura ciclica legata a una catena. È stato così formulato il primo modello di funzionamento del meccanismo di quorum sensing: la molecola-segnale, raggiunta una determinata concentrazione, agisce su una proteina del batterio modificando la sua struttura, e la proteina così attivata induce la trascrizione dei geni della bioluminescenza.

Un fenomeno ampio

«Fino all'inizio degli anni novanta – prosegue Salmond – si è creduto che il quorum sensing fosse un fenomeno limitato ai microrganismi acquatici luminescenti. A quell'epoca, mentre mi trovavo all'Università di Warwick, ho avviato una collaborazione con Barrie Bycroft e Paul Williams dell'Università di Nottingham per studiare *Erwinia carotovora*. Questo batterio produce piccole quantità di un antibiotico che ha la funzione di liberare il sito di infezione del batterio da microrganismi concorrenti. Abbiamo osservato che alcuni ceppi mutati, incapaci di produrre antibiotico, ne diventano capaci nel momento in cui vengono posti nello stesso mezzo di coltura dei ceppi produttori di antibiotico. Il secondo gruppo di microrganismi libera nel liquido di coltura una molecola-segnale che attiva la sintesi dell'antibiotico nei batteri del primo gruppo. Abbiamo isolato la molecola in questione, che è risultata analoga a quella usata da *Vibrio fischeri* per attivare la bioluminescenza.»

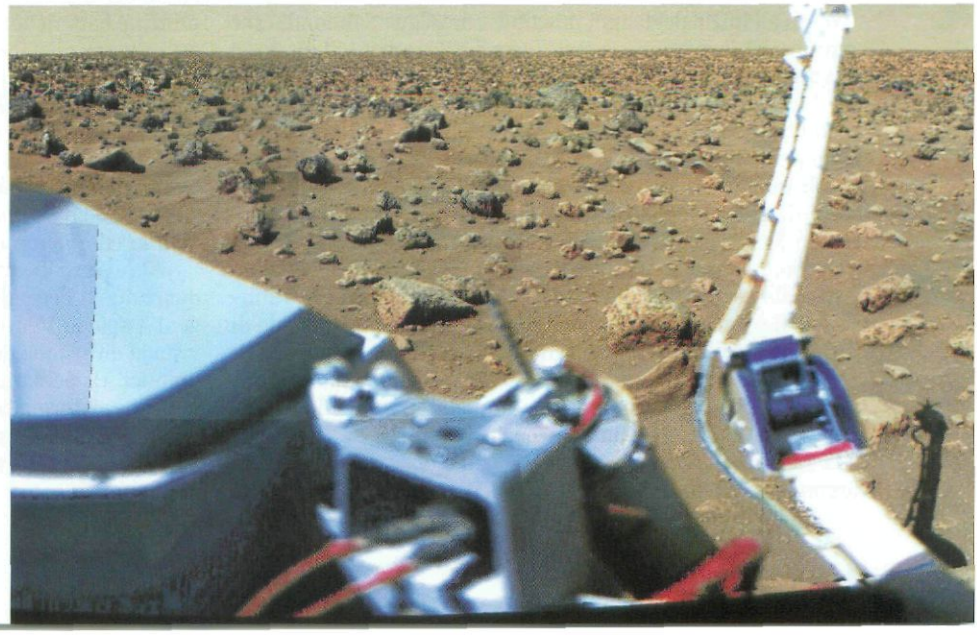
Le ricerche di Salmond e colleghi hanno aperto la strada a un campo inesplorato e vastissimo. Di lì a poco, un altro gruppo ha scoperto che *Pseudomonas aeruginosa* usa lo stesso meccanismo di comunicazione per modulare la virulenza nei confronti del suo ospite e si serve di molecole-segnale distinte per attivare diverse tossine.

«Oggi sappiamo che il quorum sensing è un meccanismo ampiamente diffuso tra i batteri – aggiunge Vittorio Venturi – e molte specie producono più di un segnale per regolare diverse funzioni. Il gruppo di molecole-segnale più conosciuto è quello che appartiene alla famiglia dei lattoni. Tutte comprendono una struttura ciclica e una coda di lunghezza e composizione variabile. Il loro funzionamento è estremamente elegante. La produzione del messaggio e la sua ricezione coinvolgono due sole proteine batteriche: una sintetizza il messaggero, una lo capta e attiva la trascrizione di un gene.»

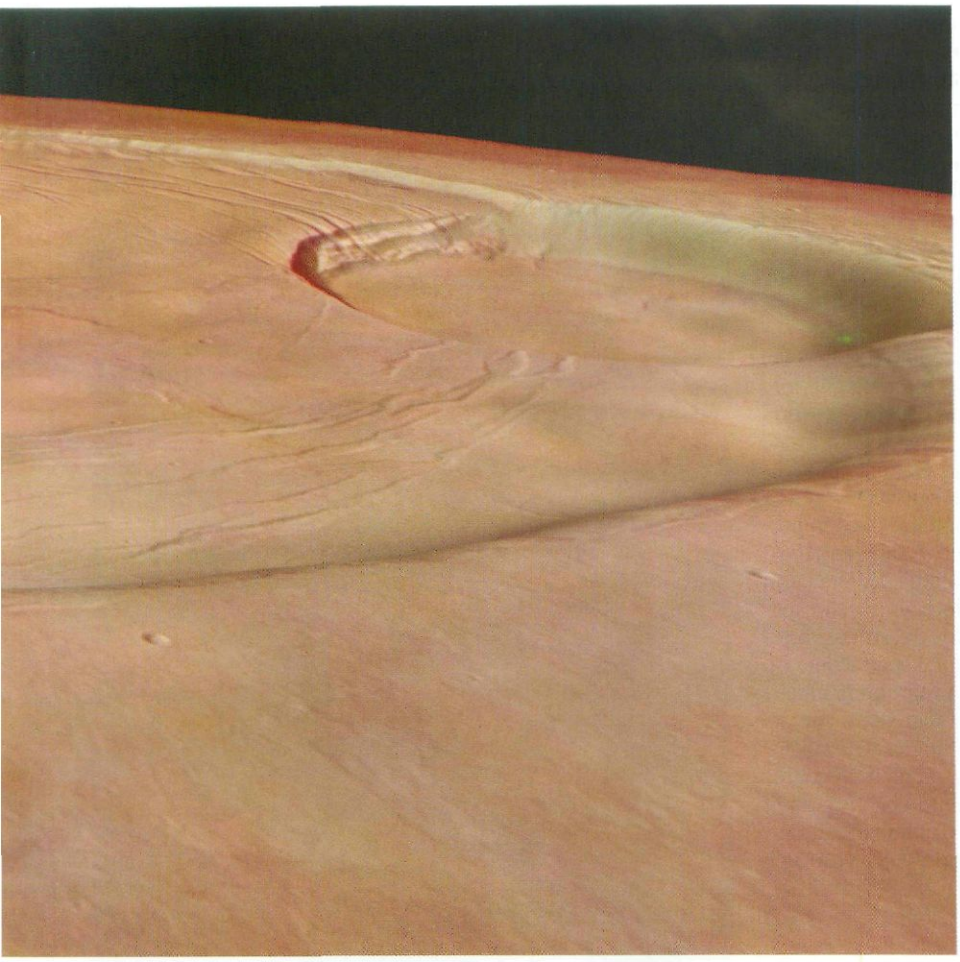
Numerosi batteri patogeni dell'uomo si servono di segnali chimici della famiglia dei lattoni. Oltre a *Pseudomonas aeruginosa* e a *Burkholderia cepacia*, anche *Yersinia pestis*, *Yersinia enterocolitica* e *Yersinia pseudotuberculosis*, che modulano in questo modo la mobilità, la formazione di biofilm e la virulenza. Altri patogeni umani, come *Bacillus subtilis*, *Streptococcus pneumoniae* ed *Enterococcus faecalis* usano molecole diverse.

«Attraverso lo studio del quorum sensing speriamo di individuare nuovi bersagli da colpire nella lotta contro i batteri patogeni – spiega Venturi – un'esigenza che è sempre più sentita, vista la diffusione di ceppi batterici resistenti ai tradizionali antibiotici. Ostacolando il dialogo tra microrganismi potremmo impedire la formazione dei biofilm, che rappresentano uno dei meccanismi di difesa dei batteri nei confronti dei farmaci, oppure inibire la loro virulenza e ridurre la loro pericolosità per la salute umana.» LS

La lunga strada verso Marte



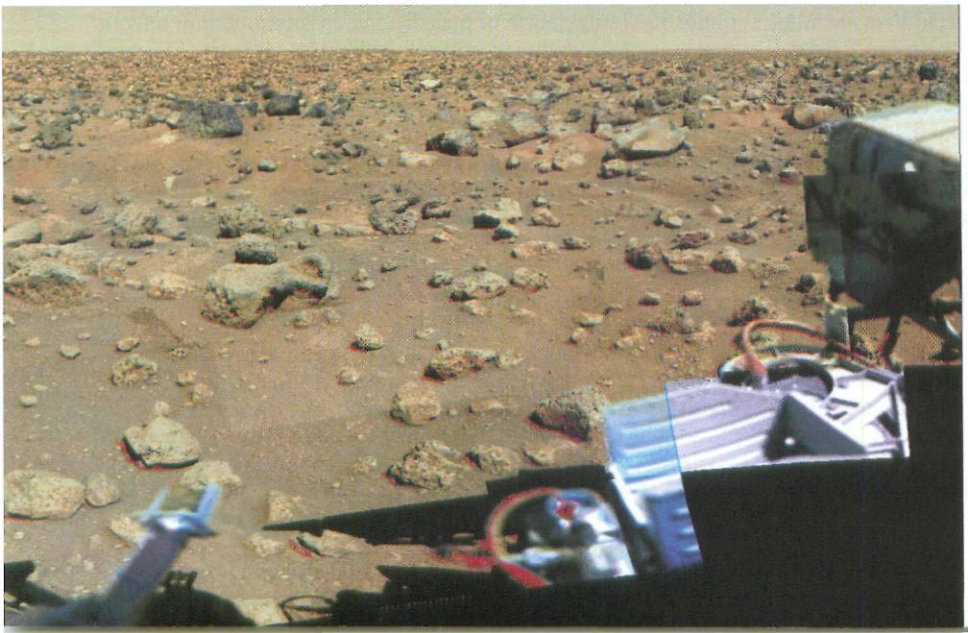
PANORAMI DELL'ALTRO MONDO. In alto, veduta in prospettiva della caldera dell'Olympus Mons, il più grande vulcano di Marte e probabilmente di tutto il sistema solare, derivata dai dati raccolti dalla sonda europea Mars Express nel febbraio 2004. A fianco, immagine a colori inviata dalla sonda Viking 2 del sito di atterraggio, nell'Utopia Planitia.



ESA/DLR/FU Berlin

Le eccezionali missioni di oggi sul Pianeta Rosso sono il risultato di quarant'anni di rincorsa, tra successi e clamorosi fallimenti

di Wesley T. Huntress Jr. e Simonetta Di Pippo



NASA

A partire dalla seconda metà del XIX secolo, la letteratura prima, e il cinema poi, sono stati pervasi dall'ipotesi di un viaggio verso un altro pianeta. Marte, in particolare, è divenuto quasi per elezione una delle mete più stimolanti di questo viaggio. All'inizio del Novecento, l'immagine di un pianeta abitato offerta dall'astronomo americano Percival Lowell ha alimentato uomini di grande inventiva, dando luogo a libri famosissimi come *La guerra dei mondi* di H. G. Wells o il «ciclo di Marte» di Edgar Rice Burrough, classici di cui la fantascienza si è servita come base per una produzione letteraria che continua ancora oggi. In varie parti del mondo, anche i primi cineasti furono ispirati dallo stesso germoglio di idee, e produssero film come l'inglese *Un messaggio da Marte* (1913) e il kolossal sovietico *Aelita, la regina di Marte* (1924). Ma fu negli anni cinquanta che la questione divenne più seria. Tra il 1952 e il 1954 Wernher von Braun pubblicò una serie di articoli sulla famosa rivista americana «Colliers», con illustrazioni che mostravano uomini che viaggiavano nello spazio, costruivano stazioni spaziali, andavano sulla Luna, Marte e oltre. Erano così interessanti che Walt Disney decise di farne una serie TV a cartoni animati. Da quel momento in poi, non si trattò più solo di fantasia e divertimento, ma di una visione immaginifica, eppure credibile, di come si potesse realmente viaggiare nello spazio. E subito dopo la fantasia cominciò a divenire realtà. Finché, negli anni sessanta, gli esseri umani sulla Luna ci andarono davvero. E poi su Marte. Su Marte non sono andati uomini, né allora né adesso. Per arrivare sul Pianeta Rosso sono stati usati sistemi autonomi e automatizzati: robot. Pur senza uomini a bordo, queste avventure robotiche sono state un'impresa esaltante e meravigliosa, che si è sviluppata attraverso il confronto tra Stati Uniti e Unione Sovietica.

La conquista dello spazio in realtà è chiaramente legata alla gara tecnologica e di predominio tra le due superpotenze, la stessa che portò al primo uomo in orbita, Yuri Gagarin, sovietico, e al primo uomo sulla Luna, Neil Armstrong, americano.

Piaccia o no, la lunga strada verso Marte, che porta fino alle scoperte sensazionali dei nostri giorni, è stata percorsa grazie ai progressi raggiunti per costruire armi di distruzione di massa dopo la seconda guerra mondiale e durante la guerra fredda. I due pionieri dello sviluppo dei lanciatori – Sergei Korolev in Unione Sovietica e Wernher von Braun negli Stati Uniti – erano infatti entrambi animati dallo stesso desiderio: volevano andare sulla Luna ed esplorare i pianeti del nostro sistema solare, pur essendo costretti a sviluppare quelle stesse tecnologie per scopi militari. Sulla base di questo sogno comune, e grazie alla loro tecnologia, Korolev e von Braun convinsero i rispettivi governi a usare proprio i razzi militari per lanciare satelliti in orbita e successivamente inviarli sulla Luna e su altri pianeti, come dimostrazione della loro capacità nazionale nel settore.

Dal punto di vista politico, alle due superpotenze poco importava che cosa fosse installato a bordo, che tipo di satellite vi fosse imbarcato. L'obiettivo era provare la tecnologia dei lanciatori e dimostrare la propria supremazia nell'esplorazione dello spazio e, quindi, la propria supremazia tout court. Questi voli, dunque, non erano altro che i vari atti di un unico spettacolo, atti pubblici in alcuni casi, come le missioni del programma americano, e in altri casi forieri di sorprese, data la segretezza con cui si mossero i sovietici in questa «guerra» tecnologica. Questo copione è durato decenni. È come un racconto, pieno di avventura, eccitazione, dubbio e tragedia. Un racconto che ci parla di coraggio e di pazienza nel superare ostacoli e fallimenti, di fantastici successi e di notevoli perdite: il brivido della vittoria e l'angoscia della sconfitta.

Il decennio dei tentativi falliti

Il cammino verso Marte inizia nel 1960, ma a parte uno sparuto gruppo di persone in Unione Sovietica e le spie americane che monitoravano dalla Turchia la telemetria dei lanciatori sovietici, all'epoca non lo seppe quasi nessuno. Nell'ottobre 1960, infatti, l'URSS tentò per due volte di lanciare in segreto un satellite verso Marte, fallendo entrambi i lanci. Quei due lanci sovietici del 1960 sono da considerarsi una diretta conseguenza del successo ottenuto da Korolev con lo sviluppo del suo missile balistico intercontinentale R-7. Nel 1957, Korolev aveva usato questo razzo per lanciare lo Sputnik, appena sei mesi dopo il primo lancio di prova. Nel 1958 sviluppò un terzo stadio per l'R-7 e lo usò per lanciare tre sonde «Luna» verso il nostro satellite naturale. Più tardi, nel 1959, Korolev sviluppò una versione a quattro stadi destinata al lancio di missioni verso Venere e Marte. L'R-7 è divenuto così il cavallo di battaglia dei lanci spaziali civili dell'Unione Sovietica sino ai giorni nostri.

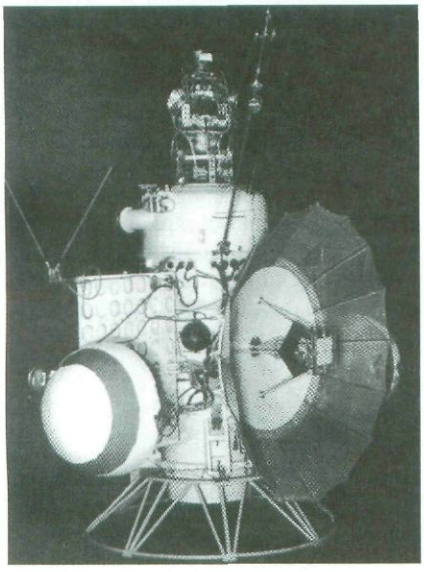
Il primo tentativo di lanciare una sonda verso Marte fallì il 10 ottobre 1960, a causa di un malfunzionamento del terzo stadio. Dopo quattro giorni, sempre per colpa del terzo stadio, fallì anche il secondo tentativo, e il primo successo fu registrato solo il 12 febbraio 1961, con il lancio verso Venere della prima sonda della serie Venera. I diciotto mesi successivi consentirono lo sviluppo di una sonda modulare e tecnologicamente più affidabile, in grado di raggiungere sia Venere sia Marte e di imbarcare strumenti scientifici diversi per missioni diverse.

Poiché la successiva opportunità di lancio, il 1962, si presentava particolarmente interessante dal punto di vista della meccanica celeste dato che la posizione relativa di Venere e Marte rispetto alla Terra era tale da concentrare le finestre di lancio molto vicine tra di loro, l'Unione Sovietica decise di effettuare ben sei lanci, tre verso Venere e tre verso Marte. Di quelli destinati al Pianeta Rosso, due andarono a vuoto, già in orbita terrestre, a causa della disintegrazione del quarto stadio. L'unico che ebbe successo fu quello che portava la sonda Mars 1, che però aveva percorso solo metà del suo cammino quando si interruppero le comunicazioni con la Terra.

Facendo tesoro dell'esperienza della missione Mars 1, i sovietici si concentrarono allora nell'apportare alcune migliorie tecniche, e nel 1963 lanciarono una missione allo scopo di sperimentare quel sistema in un volo sino a Marte. Sfortunatamente, e ancora una volta per colpa del quarto stadio, che cominciava a dimostrarsi una specie di maledizione, la missione fallì ancora una volta, e il satellite fu catturato nell'orbita terrestre. Alla successiva opportunità, nel 1964, i sovietici predisposero per il lancio ben tre satelliti per Marte, ma a causa di problemi tecnici soltanto uno riuscì ad arrivare sulla rampa di lancio e fu lanciato con successo due giorni dopo l'americano Mariner 4. Tuttavia, furono immediatamente riscontrati problemi termici e di potenza a bordo, e quando compresero che la sonda non sarebbe sopravvissuta i sovietici decisero di cambiarle nome in Zond 2 (invece di Mars 2). Le comunicazioni cessarono appena un mese dopo l'inizio del viaggio.

Nel frattempo negli Stati Uniti solo pochi erano a conoscenza dei tentativi sovietici; inoltre in quel momento il grado di preparazione degli americani per una prima missione verso il Pianeta Rosso era decisamente inferiore. Il primo lancio americano verso Marte ebbe luogo solo all'inizio del novembre 1964, con la sonda Mariner 3. La missione fallì a causa di un pannello di separazione del vettore di lancio non distaccatosi correttamente, ma alla

JPL/NASA



GUERRA FREDDA NELLO SPAZIO. Sopra, il direttore del JPL presenta al presidente Johnson le immagini di Marte inviate dalla sonda Mariner 4 . A fianco, la sonda sovietica Zond 2, che smise di comunicare un mese dopo il lancio verso Marte. Nella pagina a fronte, Sergei Korolev (1906-1966), l'ingegnere aeronautico che sviluppò e diresse il programma spaziale dell'Unione Sovietica.

IN SINTESI

- La conquista dello spazio, e con lei la corsa verso Marte, è il frutto dello scontro tecnologico tra le due superpotenze che portò il sovietico Gagarin a essere il primo uomo in orbita e l'americano Armstrong il primo sulla Luna.
- La sfida inizia ufficialmente negli anni sessanta, con numerose missioni russe che non registrano alcun successo, mentre gli americani raggiungono il pianeta con le sonde Mariner e poi, nel 1976, con le Viking.
- Marte viene dimenticato fino a metà degli anni novanta, quando Mars Global Surveyor e Mars Sojourner ottengono grandi successi. E oggi sul Pianeta Rosso c'è anche l'Europa.

fine di novembre fu lanciato un satellite identico, il Mariner 4, che fu la prima missione di successo verso Marte.

Raggiunto il pianeta il 14 luglio 1965, la sonda sorvolò Marte a meno di 10.000 chilometri di altezza e rimandò a Terra 22 immagini di una piccola area della superficie, evidenziando la presenza di crateri e di un'atmosfera sottile di anidride carbonica con una pressione superficiale pari a meno di 1/100 di quella terrestre. Insieme a quelle poche foto, il Mariner 4 ci rimandò la convinzione che Marte fosse molto più simile alla Luna di quanto previsto o sperato.

Alla fine del 1964, il bilancio di questo primo capitolo della corsa alla conquista di Marte registrava dunque per il programma sovietico sette lanci falliti verso Marte, e otto verso Venere, in soli cinque anni. Quanto al satellite multi-pianeta, quando era riuscito a sopravvivere al lancio aveva fallito in volo per tre volte. A completare il quadro, sette missioni lunari consecutive avevano subito la stessa sorte, a cominciare da Luna 3 nel 1959, per un totale complessivo di 22 missioni perdute, dal 1959 al 1964. Inoltre, nel luglio 1965, la Zond 3 fu sì lanciata con successo, ma fallì dopo sette mesi di crociera, mentre stava raggiungendo Marte. Verso la fine del 1965, poi, le Venera 2 e 3 si avviarono correttamente verso Venere ma terminarono la loro esistenza quasi alla fine della missione. In Occidente però, almeno pubblicamente, di tutto questo non si sapeva nulla. E in realtà nemmeno in Unione Sovietica: gli unici a conoscere la verità erano gli addetti ai lavori. In questa gara tra le due superpotenze, gli Stati Uniti avevano invece messo a segno il Mariner 2 per Venere e il Mariner 4 per Marte. Per il momento, dunque, avevano vinto.

Nessuno dei due contendenti sfruttò l'opportunità di lancio del 1967. Gli americani si stavano concentrando sulla possibilità di essere i primi ad atterrare su Marte e l'obiettivo doveva essere perseguito in passi successivi passando attraverso una missione nel 1969 allo scopo di migliorare la conoscenza del pianeta per prepararsi all'atterraggio sulla sua superficie. A questa sarebbe seguita poi una seconda missione nel 1971 che, mappando la superficie, avrebbe consentito la scelta del luogo di atterraggio, previsto per il 1973. Poiché l'obiettivo sovietico era esattamente lo stesso, questo segnò l'avvio di una nuova gara, non annunciata, che aveva come trofeo l'arrivo su Marte. Il risultato fu l'assalto al Pianeta Rosso degli anni 1969-1975.

Il primo traguardo fu raggiunto dagli Stati Uniti nel 1969 con due lanci. Il Mariner 6 mostrò una superficie di Marte caratterizzata vicino all'equatore e il Mariner 7 un Polo sud coperto di ghiaccio secco. Entrambi i risultati sembravano confermare quanto già scoperto dal Mariner 4: Marte era un luogo arido. Col senno di poi, è stata una fortuna che dopo queste prime «deludenti» missioni non si sia deciso di soprassedere.

La sfida sovietica

I sovietici, dal canto loro, nel 1966 avevano deciso di sviluppare una sonda più complessa per sfruttare appieno il potenziale del nuovo lanciatore Proton. Anche il loro piano puntava a un atterraggio nel 1973, sfruttando le due opportunità del 1969 e del 1971 per far atterrare sulla superficie di Marte sonde che rimandassero a terra immagini panoramiche, analizzassero l'atmosfera e le caratteristiche superficiali, e cercassero eventuali indizi della presenza di forme di vita. Il modulo di atterraggio sarebbe stato sganciato da un orbiter che avrebbe condotto rilevamenti dall'alto compiendo anche incontri ravvicinati con i due satelliti naturali di Marte, Deimos e Phobos. Le informazioni in loro possesso erano però insufficienti per progettare un modulo di atterraggio, e quindi l'opportunità di lancio del 1969 doveva essere usata per ottenere dati atmosferici inviando satelliti orbitanti affiancati da sonde. Ma a pochi mesi dal lancio del 1969 le sonde furono cancellate dal programma per seri proble-

mi legati alla massa, e i due lanci dei satelliti fallirono a causa dell'esplosione dei vettori Proton.

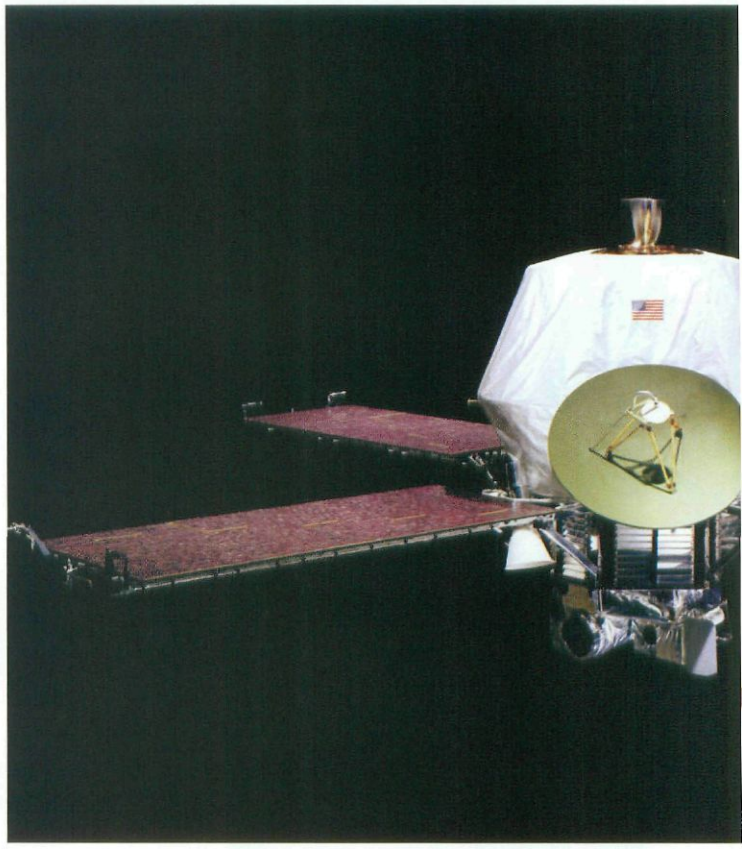
I fallimenti non fermarono i sovietici. Se volevano vincere, però, battendo sul tempo gli americani, dovevano tentare un piano molto rischioso, e dovevano tentarlo nel 1971. Basandosi sui dati forniti dalle missioni Mariner 4, 6 e 7 e da osservazioni congiunte con telescopi da terra, i tecnici dell'URSS riuscirono a disegnare un modulo per entrare nell'atmosfera. L'idea era quella di inviare un satellite su una traiettoria veloce per tentare di farlo arrivare a Marte con notevole anticipo rispetto a una combinazione satellite orbitante/modulo di atterraggio che sarebbe stata lanciata più o meno contemporaneamente. Il satellite avrebbe dovuto precedere quello americano e al tempo stesso raccogliere i dati necessari per consentire alla seconda missione sovietica di beneficiarne mentre era già in volo. Per ridondanza, fu sviluppato anche un sistema di navigazione autonomo e automatizzato.

I sovietici tentarono il lancio del loro satellite «veloce» il 10 maggio 1971 (cioè il giorno dopo quello del fallimento dell'americano Mariner 8), ma il quarto stadio li tradì di nuovo: il satellite rimase imbrigliato in orbita terrestre, e con esso la possibilità di essere i primi a far orbitare un satellite attorno a Marte. In realtà, il sistema di navigazione autonomo che utilizzarono era molto avanzato per i tempi, e rappresentava sicuramente un esempio delle capacità degli ingegneri spaziali sovietici e della loro conoscenza dei sistemi automatici, ma il rischio insito nel loro tentativo era comunque enorme.

A dispetto di questo, i sovietici andarono avanti, lanciando satellite e modulo di atterraggio nello stesso mese. La missione Mars 2 arrivò a Marte due settimane dopo il Mariner 9. Il sistema di navigazione funzionò come previsto, misurando la posizione relativa del satellite rispetto al pianeta, e consentendo quindi al sistema di guida di effettuare una manovra corretta per l'inserzione in orbita e di ricalibrarlo poi per eseguire la manovra sulla sonda dopo la separazione. In effetti, la Mars 2 si trovava su una traiettoria pressoché perfetta prima della manovra, il che, non essendo previsto dal software di bordo, diede luogo a una compensazione eccessiva. Prima del lancio c'era stato poco tempo per verificare il software, così il satellite fu inserito correttamente nella sua orbita ellittica della durata di 18 ore intorno a Marte, ma la sonda entrò nell'atmosfera con un angolo errato, schiantandosi. Ciò nonostante, un primato la missione Mars 2 lo conquistò: portare il primo oggetto costruito dall'uomo in contatto con la superficie di Marte. Poi, il 2 dicembre 1971, la missione Mars 3 arrivò a Marte grazie a una sequenza di manovre assolutamente perfetta guidata dal sistema di navigazione autonomo. Il lander della Mars 3 fu quindi il primo ad atterrare sul Pianeta Rosso, ma ammutolì appena due secondi dopo l'arrivo, inviando alla base una sola immagine, del tutto priva di interesse.

In orbita intorno Marte

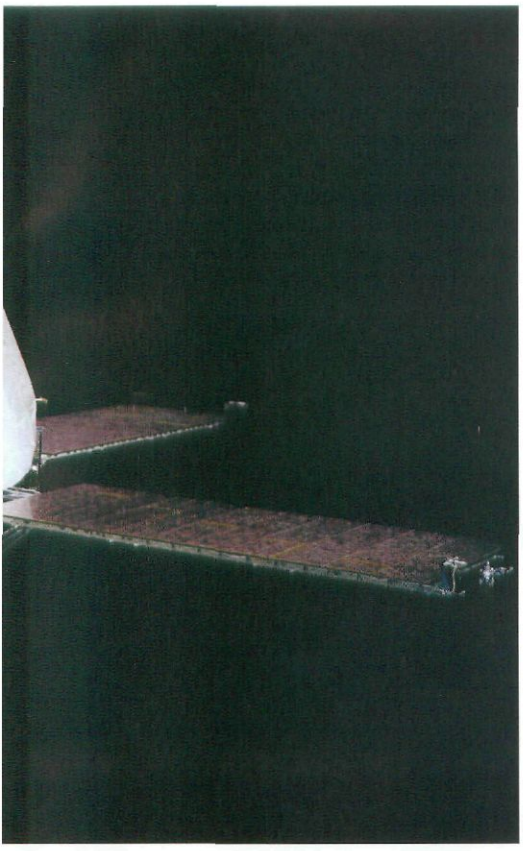
La sonda americana Mariner 9 ebbe dunque gioco facile. Lanciata nello stesso mese del fallimento del Mariner 8, il 14 novembre 1971 diventò il primo satellite in orbita marziana. Nel corso di un anno circa di operatività, fotografò l'intera superficie di Marte, rivelando un pianeta imprevisto e imprevedibile, ben diverso da come lo si poteva immaginare sulla base dei pochi dati ottenuti dalle tre precedenti missioni. La Mariner 9 restituì una mappa del 100 per cento della superficie di Marte con una risoluzione di circa un chilometro, e dell'uno per cento con una risoluzione di 100 metri, rivelando gigantesche montagne di origine vulcanica, catene montuose, depressioni, tracce di attività tettonica e valli sinuose che assomigliano a letti asciutti di fiumi terrestri. Fu confermata anche la presenza di molti crateri da impatto, come sulla Luna, ma questa sembra essere l'unica



caratteristica che accomuna il nostro satellite a Marte. Anche se non fu trovata acqua liquida in superficie, furono rilevate chiare tracce di processi idrologici, e il Pianeta Rosso cominciò ad acquistare un'immagine sempre più simile a quella della Terra.

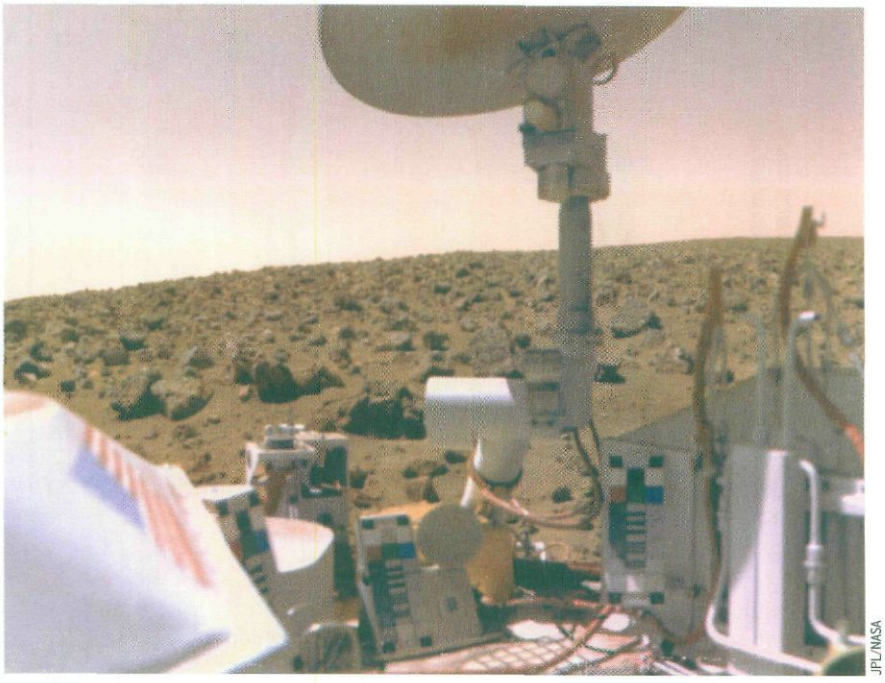
Mentre gli americani prendevano la decisione di saltare l'opportunità di lancio del 1973 per prepararsi alle missioni Viking, i sovietici provarono a batterli, cercando di raggiungere la superficie di Marte per primi. Nel 1973, i requisiti in termini di energia necessaria erano più stringenti rispetto alle capacità della combinazione satellite orbitante/modulo di atterraggio di due anni prima, così fu deciso di separare i diversi elementi e venne predisposta una vera e propria armata formata da ben quattro missioni, due con un satellite orbitante e due con un modulo di atterraggio. I due orbiter avevano a bordo sia la strumentazione scientifica sia il sistema di comunicazione, indispensabile al raggiungimento dell'obiettivo dei lander.

Nonostante i problemi riscontrati ad alcuni importanti componenti, le quattro missioni furono lanciate con successo tra il luglio e l'agosto 1973. La Mars 4 ebbe numerose difficoltà durante il volo e non riuscì ad agganciarsi in orbita a causa di un errore nello sparo per l'inserzione in orbita, per cui potè inviare a terra solo poche immagini. Subito dopo arrivò la Mars 5, che dopo essere entrata nell'orbita prevista intorno a Marte registrò un serio problema agli strumenti terminando prematuramente il suo compito e lasciando i due moduli di atterraggio Mars 6 e 7 senza il supporto delle comunicazioni. La Mars 7 infatti arrivò nove giorni dopo che Mars 5 era ammutolita, ma la manovra di inserzione in orbita risultò errata e il pianeta fu superato di 1300 chilometri, probabilmente a causa dei problemi ai transistor che nel 1973 flagellarono tutta la flotta sovietica. Alcuni dati furono comunque rimandati a terra durante il passaggio. Dopo tre giorni arrivò anche la Mars 6, che, con il sistema di comunicazioni non funzionante, fu costretta a operare in modo autonomo. La manovra funzionò perfettamente, e durante la discesa con il paracadute i dati furono trasferiti sulla Terra dal

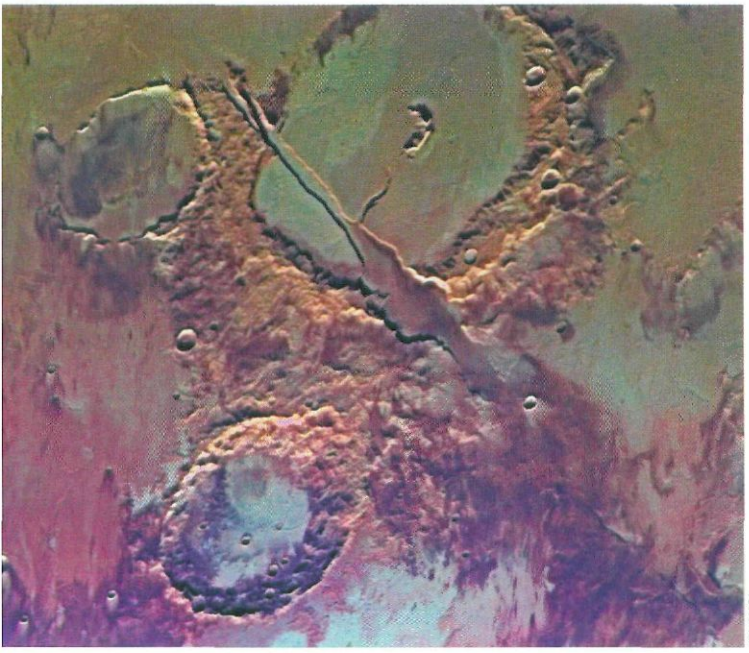


NASA

MARTE A STELLE E STRISCE. Negli anni settanta, l'ente spaziale americano riuscì a inserire un satellite in orbita marziana (il Mariner 9, nel disegno a sinistra) e a far scendere sulla superficie del Pianeta Rosso i lander di entrambe le missioni Viking, che rimasero operative fino al 1978 la prima e fino al 1980 la seconda. Qui sotto, una delle immagini del Viking Lander 2. In basso, la Memnonia Fossae, nell'emisfero sud di Marte, ripresa dall'orbiter del Viking 2.



JPL/NASA



JPL/NASA

lander attraverso il satellite. Il sistema tuttavia era molto rumoroso, e il contatto con il sistema di discesa fu perduto immediatamente prima dell'atterraggio. Della Mars 6 non si ebbero mai più notizie, ma la missione va comunque annoverata come un successo, poiché fu la prima a effettuare una misura *in situ* dell'atmosfera marziana.

Campo libero alle missioni Viking

La campagna sovietica del 1973 è sicuramente un caso degno di studio soprattutto per la decisione di procedere con altissimo rischio, e una prova inconfutabile delle capacità raggiunte dai tecnici e dagli ingegneri dell'URSS, che riuscirono a raggiungere l'obiettivo conducendo complesse operazioni in modo automatico, a dispetto dei problemi all'avionica. Nell'intera campagna di Marte, dal 1960 al 1973, i sovietici furono i primi a lanciare, ma nonostante gli otto tentativi degli anni sessanta e l'impegno massiccio tra il 1969 e il 1973, alla fine l'Unione Sovietica rimase senza più nulla da lanciare per competere con il programma americano Viking, e abbandonò Marte per concentrarsi su Venere, obiettivo che si mostrava più congeniale.

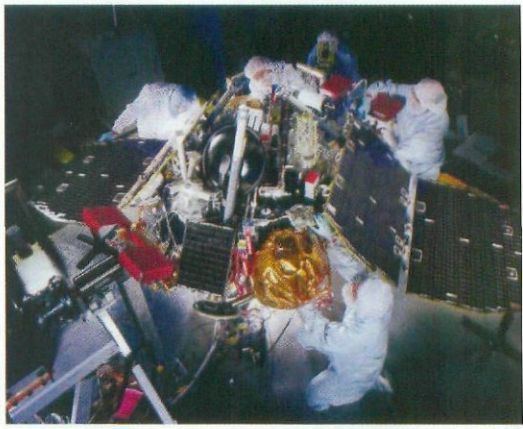
Le missioni marziane determinanti del decennio furono quindi le Viking 1 e 2, lanciate nell'estate del 1975. I due satelliti, ciascuno con il suo modulo di atterraggio, raggiunsero l'orbita di Marte dieci mesi dopo il lancio e dedicarono diversi mesi a fotografare la superficie per selezionare definitivamente il sito di atterraggio. Il primo ad arrivare sulla superficie del Pianeta Rosso fu il Viking 1, il 20 luglio del 1976, seguito da Viking 2 il 3 settembre. Subito dopo l'atterraggio, i due moduli misurarono la composizione dell'atmosfera e analizzarono il suolo marziano, raccolto con una speciale «paletta». Il loro obiettivo principale era cercare composti organici e attività biologica a livello microbico, e uno dei quattro strumenti destinati a questo scopo registrò effettivamente una reazione, ma che si ritenne dovuta a un ossidante inconsueto presente nel suolo. Niente materiale orga-

GLI AUTORI

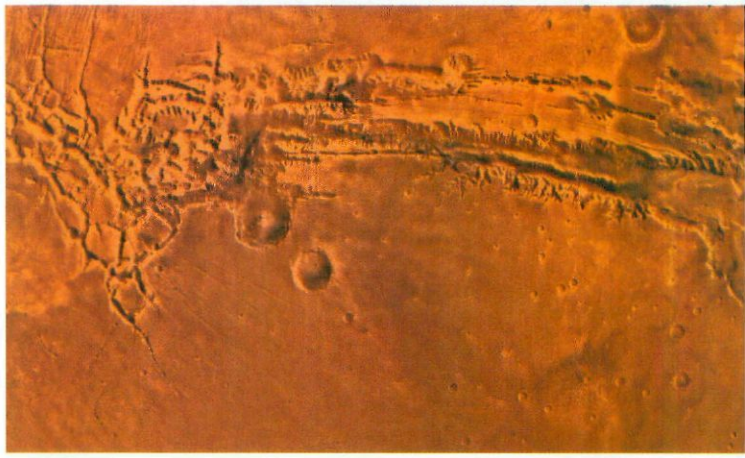
WESLEY HUNTRESS, ora direttore del laboratorio di geofisica della Carnegie Institution e presidente della Planetary Society, ha ricoperto vari incarichi alla NASA, tra cui quello di Associate Administrator for Science. SIMONETTA DI PIPPO è responsabile dell'osservazione dell'universo all'ASI e delegato italiano ai Comitati Scienza ed Esplorazione dell'ESA. Nel 1998 è stata uno dei tre esperti europei chiamati dalla NASA a partecipare alla ristrutturazione del programma di esplorazione di Marte.

Elaborazione grafica di Danilo Sossi

UN PIANETA DIFFICILE. Marte si è rivelato un pianeta particolarmente restio all'esplorazione umana: quasi il 60 per cento delle missioni inviate verso il Pianeta Rosso è fallito. Sotto, il Mars Polar Lander, scomparso nel dicembre 1999, durante la fase di assemblaggio negli stabilimenti Lockheed di Denver. A sinistra, l'evoluzione dei lanciatori spaziali sovietici. In basso, un'immagine ripresa da Viking 1 del sistema di canyon della Valles Marineris.



JPL/NASA



nico, nessuna traccia di forme di vita. I due moduli Viking 1 e 2 lavorarono sulla superficie di Marte per parecchi anni, fornendo un monitoraggio meteorologico continuo, mentre i satelliti in orbita proseguivano una campagna intensiva di acquisizione fotografica realizzando una mappa pressoché completa della superficie del pianeta. Pur non risolvendo la questione dell'eventuale presenza di vita su Marte, le Viking fornirono una grande mole di informazioni dettagliate sul pianeta.

I russi escono di scena

Dopo essere finalmente riusciti ad atterrare sul pianeta, e averlo trovato secco, freddo, roccioso e con nessuna evidenza di forme di vita, sembrava non ci fosse altro da fare. E Marte fu dimenticato per altri 12 anni. La ripresa delle attività fu segnata dall'Unione Sovietica a metà degli anni ottanta. Dopo aver ottenuto molti successi con Venere, e in assenza di interessi da parte americana, i sovietici decisero di tentare ancora Marte.

Iniziò così un altro capitolo della corsa verso il Pianeta Rosso. Rispetto agli Stati Uniti, gli ingegneri dell'URSS avevano conquistato la capacità di sviluppare sistemi spaziali più complessi e una leadership a livello internazionale con le due missioni Vega dirette verso la cometa di Halley. L'obiettivo primario del nuovo programma sovietico per Marte doveva essere un incontro ravvicinato con il satellite Phobos, per rilasciare piccole sonde e condurre misurazioni dall'orbita della sua superficie. Fu sviluppato un carico utile molto complesso e articolato, che comprendeva un gran numero di strumenti scientifici sviluppati grazie a numerose collaborazioni internazionali, e nel luglio 1988 furono lanciate due missioni.

La Phobos 1 andò perduta durante la fase di crociera per un errore nella sequenza dei comandi da terra, mentre la Phobos 2 arrivò a Marte nel gennaio del 1989 e fu inserita correttamente in orbita marziana. Aggiustata l'orbita durante i passaggi successivi, si arrivò a quella definitiva, sufficientemente vicina a Phobos da poter condurre osservazioni sia di Marte sia del suo satellite naturale. Era prevista un'ultima manovra per consentire un passaggio sopra la superficie allo scopo di sganciare due piccole stazioni, ma, un giorno prima, un malfunzionamento all'elettronica di controllo a bordo fece perdere le tracce del satellite.

Anche se la missione non raggiunse tutti i suoi obiettivi scientifici, i risultati ottenuti con la Phobos 2 superarono di gran lunga l'insieme di quelli ottenuti sino ad allora da tutte le missioni sovietiche verso Marte. Gli americani tentarono di contrastare questa mossa lanciando il Mars Observer, un satellite più modesto rispetto a quello sviluppato per le due missioni Phobos. Partì il 25 settembre 1992, con due anni di ritardo rispetto ai piani originari, e sembrò un successo sino a tre giorni prima dell'inserzione in orbita marziana, quando il sistema di propulsione fallì catastroficamente. Era la prima volta che un satellite americano si perdeva durante il volo, e lo shock indusse negli Stati Uniti un ripensamento sugli investimenti e i rischi connessi allo sviluppo di sistemi spaziali complessi e costosi a confronto con sistemi più piccoli ed economici da lanciare a intervalli più frequenti.

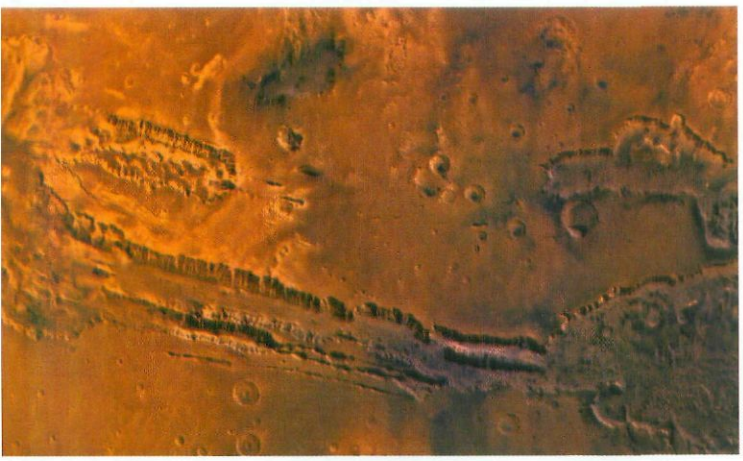
Nel frattempo, l'Unione Sovietica si dissolveva, e la neonata Agenzia spaziale russa decise di dedicarsi nuovamente a Marte. Fu messo in piedi un progetto molto ambizioso, costituito da un satellite orbitante, piccoli moduli di atterraggio, dei penetratori, un veicolo mobile e l'equivalente di un pallone stratosferico in atmosfera marziana. Venti nazioni, compresi gli Stati Uniti, furono invitate a partecipare allo sviluppo della strumentazione

scientifica. Inizialmente, il progetto si chiamò Mars 94, cambiato poi in Mars 96 con la variazione della data di lancio, dovuta a ritardi legati in parte alla complessità della missione e in parte alla situazione politica e finanziaria in Russia. Pallone, veicolo mobile e lander furono cancellati dal programma. Il 16 novembre 1996 fu lanciato un unico satellite, che ricadde però subito sulla Terra per la mancata accensione dell'ultimo stadio. Dopo le dozzine di fallimenti sopportati (ma in segreto) nella fase pionieristica delle attività spaziali, questo ulteriore disastro, avvenuto per la prima volta in modo completamente pubblico, segnò la fine degli investimenti russi nelle missioni di esplorazione scientifica del sistema solare.

Le «piccole» missioni americane

La risposta americana alla perdita di Mars Observer fu esattamente opposta. Per rimpiazzare la perdita, si sviluppò immediatamente non un'altra missione ma un intero programma di nuove missioni per esplorare Marte. Gli obiettivi scientifici del Mars Observer furono conservati e gli stessi strumenti distribuiti in tre missioni diverse, ciascuna pianificata per un'opportunità di lancio diversa, a cui fu aggiunto lo sviluppo di un altro modulo di atterraggio per provare nuove tecnologie destinate a raggiungere la superficie di Marte in modo innovativo e più economico.

Il costo delle prime due missioni era più basso di quello del Mars Observer, e furono entrambe un grande successo. Il primo a



JPL/NASA

partire fu il Mars Global Surveyor (MGS), lanciato il 7 novembre 1996, che entrò nell'orbita di Marte nel settembre dell'anno successivo. La seconda missione, Mars Pathfinder, partì all'inizio del dicembre 1996 e toccò il suolo del Pianeta Rosso il 4 luglio 1997, giorno dell'indipendenza americana. Per la prima volta, gli americani usarono gli airbag per ridurre lo shock dell'atterraggio, adattando la tecnica usata dalle prime sonde lunari sovietiche. Il lander sbarcò sulla superficie di Marte il primo veicolo mobile marziano, il Sojourner, un piccolo robot con sei ruote che rimase operativo per quattro mesi, misurando la composizione del suolo e delle rocce nei dintorni del modulo di atterraggio.

MGS è stata la prima missione a usare la tecnica del cosiddetto *aerobraking*, sfruttando l'attrito con gli strati più alti dell'atmosfera marziana per raggiungere un'orbita più vicina e circolare, dalla quale ha fornito immagini ad alta risoluzione della superficie di Marte, informazioni sulla topografia, il campo gravitazionale e quello magnetico. In particolare, le immagini ad alta risoluzione hanno portato a molte scoperte relative anche a segni evidenti di presenza acqua sia passata che recente. MGS è ancora operativo, e oltre a inviare immagini di Marte, fa parte della rete di comunicazione per le missioni verso il pianeta.

Incoraggiati dai successi della nuova strategia di esplorazione di Marte, per la successiva opportunità di lancio 1998 gli americani decisero di sviluppare altri due satelliti, ancora meno costosi di quelli del 1996: probabilmente, troppo poco costosi. Dopo un lancio riuscito e un viaggio verso Marte senza problemi, entrambe le missioni sono fallite. Il Mars Climate Orbiter è sparito il 23 settembre 1999, durante la fase di inserzione in orbita. Poi, ai primi di dicembre, subito dopo la separazione dal satellite di trasporto, scompare nel nulla il Mars Polar Lander insieme ai due penetratori sperimentali Deep Space 2. Le analisi effettuate dalle commissioni di inchiesta hanno rivelato banali problemi nel sistema di navigazione e nell'ingegneria dovuti a risorse economiche insufficienti.

È stata la dimostrazione che gli Stati Uniti avevano spinto oltre il limite la loro strategia di esplorazione dello spazio a basso costo, e che era giunto il momento di rivedere l'architettura del loro programma di esplorazione di Marte. Diversamente dai primi tre decenni del programma spaziale americano, gli anni novanta non sono stati esaltanti. Il fallimento di tre missioni su cinque, tutte perdute durante la fase finale di avvicinamento al pianeta, ha messo in pericolo l'intero programma americano di esplorazione di Marte. Si è deciso allora di ridurre drasticamente la configurazione della missione del 2001, eliminando la sonda di atterraggio, e di procedere alla ristrutturazione del programma.

La flotta internazionale

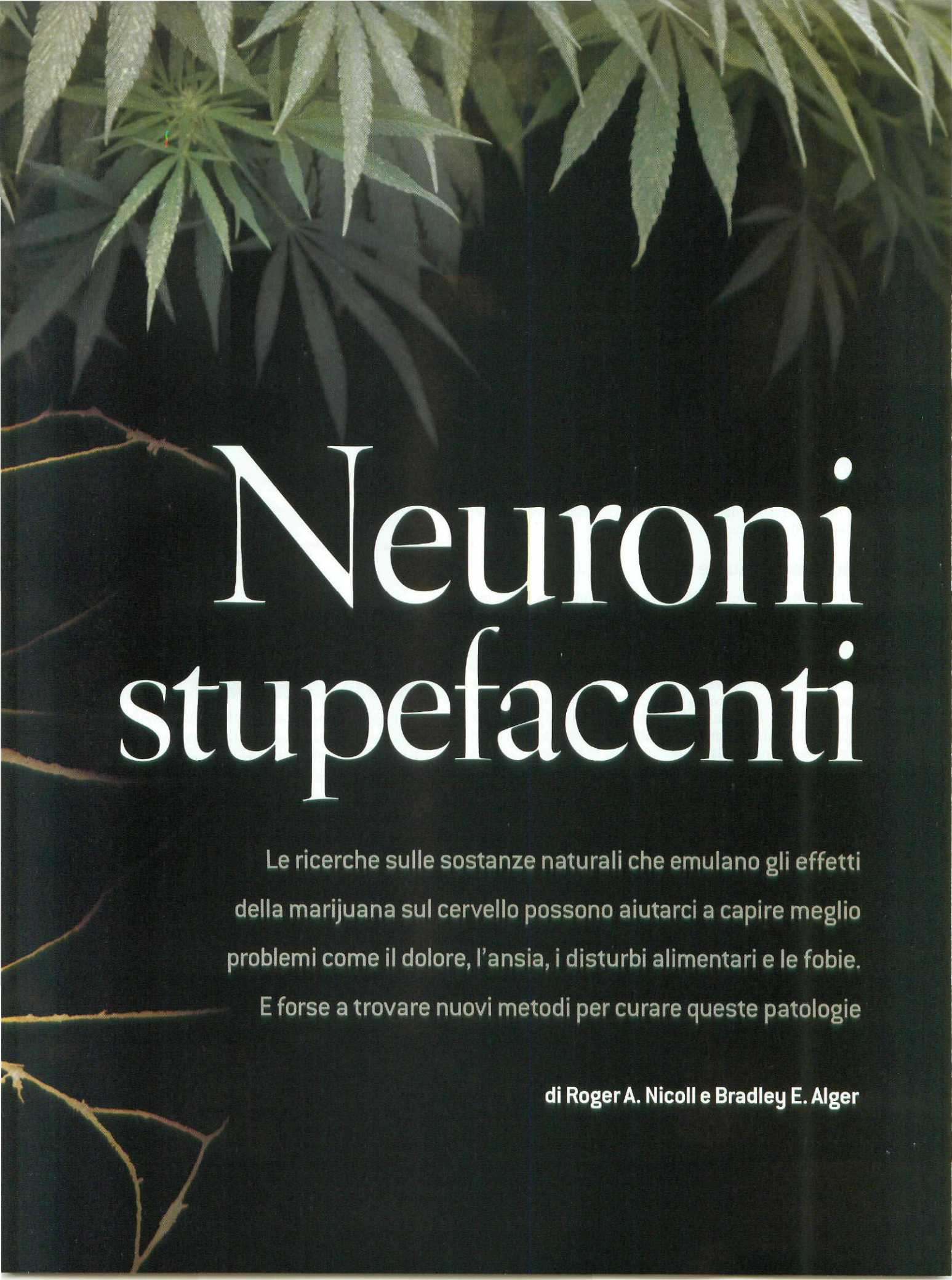
Partita il 7 aprile 2001, la sonda Mars Odyssey porta a bordo l'ultima tranche di esperimenti scientifici perduti con la missione Mars Observer, oltre a uno spettrometro infrarosso e un rivelatore di neutroni. Lo spettrometro IR, insieme a quello operante nel gamma, ha scoperto copiose quantità di ghiaccio alcuni metri sotto la superficie in gran parte del pianeta e in particolare ai poli. La sonda è ancora operativa (ha completato oltre 1100 orbite di Marte) e, insieme a MGS, assolve la funzione chiave di tenere i contatti con i veicoli mobili lanciati nel 2003: Spirit e Opportunity. Il 2003, inoltre, può essere considerato il primo anno di vera collaborazione internazionale nell'esplorazione di Marte. Per la prima volta, intorno al Pianeta Rosso non ci sono solo veicoli americani o russi. C'è infatti, perfettamente funzionante, un satellite europeo: Mars Express, che trasporta gran parte della strumentazione scientifica andata perduta con la Mars 96.

Non ce l'ha fatta, invece, la missione giapponese Nozomi e anche Mars Express ha avuto i suoi problemi: il lander Beagle 2, sganciato il 25 dicembre 2003 per effettuare l'entrata e l'atterraggio su Marte, ha fatto perdere le sue tracce, ed è ormai certo che si sia distrutto durante questa delicata fase della missione.

Non c'è dubbio che Marte sia un pianeta molto difficile su cui atterrare, ma a dispetto di questo gli ultimi quattro decenni del secolo scorso hanno portato successi scientifici e tecnologici. E anche i fallimenti hanno il loro valore, perché è da essi che bisogna trarre insegnamento per tentare ancora, e per trasformare l'errore in forza. Oggi, intorno e su Marte, ci sono cinque sistemi spaziali operanti: i satelliti orbitanti Mars Global Surveyor, Mars Odyssey e Mars Express e i due veicoli mobili Spirit e Opportunity. Questa flotta internazionale è una misura dell'interesse che suscita l'esplorazione di Marte.

Marte è un luogo eccitante, sicuramente. E ogni nuova scoperta convince sempre di più del fatto che in un passato ci doveva essere acqua sulla superficie del pianeta. Marte ha grandi riserve di ghiaccio e forse anche qualche piccola riserva d'acqua superficiale. Forse. E inoltre la ricerca di tracce di possibili forme di vita ha subito di nuovo una forte accelerazione. Un giorno, forse non troppo lontano, le troveremo. E un giorno alle missioni robotiche seguiranno le missioni umane. L'esplorazione di Marte negli ultimi 45 anni è stata costellata di drammi ed emozioni. Può solo migliorare, ogni 26 mesi.

VVG/SPL (*neurone*); Ric Ergenbright/Corbis (*foglie*)



Neuroni stupefacenti

Le ricerche sulle sostanze naturali che emulano gli effetti della marijuana sul cervello possono aiutarci a capire meglio problemi come il dolore, l'ansia, i disturbi alimentari e le fobie. E forse a trovare nuovi metodi per curare queste patologie

di Roger A. Nicoll e Bradley E. Alger

La marijuana è una sostanza che suscita reazioni contrastanti. A qualcuno evocherà immagini di fumatori stralunati persi nei paradisi artificiali. Per qualcun altro sarà invece il simbolo del rilassamento e della fuga dalla follia dei tempi moderni. E per qualcun altro ancora la marijuana potrà invece significare una speranza per i malati di cancro debilitati dalla nausea provocata dalla chemioterapia, oppure la promessa di un effetto analgesico per chi soffre di dolore cronico. La marijuana è tutto questo e altro ancora, perché la sua è una storia lunga, che attraversa i millenni e i continenti. Ma è anche una sostanza con cui ognuno di noi, che lo sappia o meno, ha una certa familiarità. Ognuno di noi, infatti, senza eccezione alcuna, a prescindere dalle nostre predilezioni politiche o di svago, ne produce naturalmente una forma. Il nostro cervello produce la sua marijuana, vale a dire dei composti chimici noti come endocannabinoidi (da *Cannabis sativa*, il nome scientifico della pianta).

Negli ultimi anni, lo studio degli endocannabinoidi ha portato a scoperte entusiasmanti. Esaminando queste sostanze, gli scienziati hanno rivelato un sistema di segnalazione del tutto nuovo nel cervello: un sistema di comunicazione tra cellule nervose che ancora 15 anni fa nessuno avrebbe previsto, e la cui comprensione potrebbe avere importanti implicazioni. Nelle pieghe di questo sistema sembra nascosto il segreto per curare l'ansia, il dolore, la nausea, l'obesità, i danni cerebrali e molti altri problemi clinici. L'obiettivo è sviluppare trattamenti progettati su misura in modo da non innescare gli indesiderati effetti collaterali della marijuana.

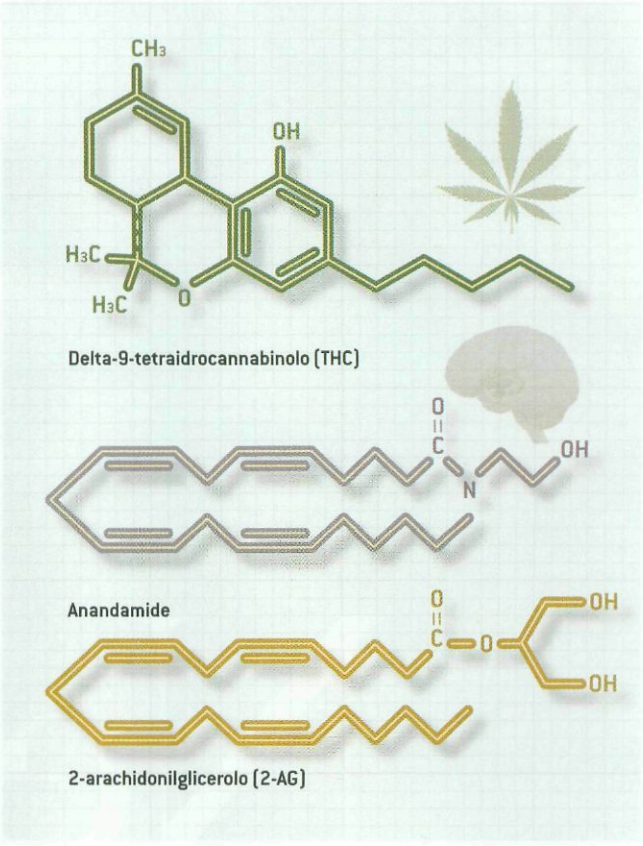
Una storia di luci e ombre

La marijuana, e le varie droghe a essa affini, come il bhang e l'hashish, è una delle sostanze psicoattive più consumate al mondo. Il modo in cui è stata usata varia a seconda delle culture. Gli antichi cinesi ne conoscevano la capacità di alleviare il dolore e di alterare la coscienza, però non la impiegavano per le sue proprietà psicoattive, ma la coltivavano per ricavare filati e tessuti; lo stesso facevano gli antichi greci e romani, che se ne servivano per costruire corde e vele. In altre parti del mondo, tuttavia, le proprietà intossicanti della marijuana acquistarono molta importanza. In India, per esempio, la pianta era inclusa nei rituali religiosi, e nel Medioevo il suo uso era comune nei paesi arabi: nel XV secolo era usata in Iraq per curare l'epilessia, mentre in Egitto veniva consumata essenzialmente per le sue proprietà psicoattive. Dopo la conquista del paese da parte di Napoleone si cominciò far uso della marijuana come intossicante anche in Europa, e all'epoca della tratta degli schiavi essa fu esportata dall'Africa al Messico, ai territori caraibici e nell'America meridionale.

Negli Stati Uniti, la marijuana ha conquistato un seguito in tempi relativamente recenti. Nella seconda metà dell'Ottocento e agli inizi del Novecento la cannabis poteva essere acquistata liberamente in farmacia senza ricetta per combattere vari disturbi, fra cui emicrania e ulcera. Gli immigrati messicani la introdussero come droga ricreativa a New Orleans e in altre grandi città, dove divenne popolare tra i musicisti jazz. Negli anni trenta, tuttavia, si era fatta una cattiva fama, e un'intensa campagna stampa demonizzò la «pazzia da spinello». Nel 1937, nonostante il parere contrario dell'American Medical Association, il Congresso degli Stati Uniti emanò il Marijuana Tax Act, che ne vietava sostanzialmente l'uso, rendendola costosa e di difficile reperibilità. Da allora, la marijuana è rimasta una delle droghe più discusse della società americana. Nonostante gli sforzi per modificarne lo stato giuridico, essa rimane classificata a livello federale tra le droghe «di primo livello», insieme all'eroina e all'LSD, considerate pericolose e prive di utilità. [In Italia, il divieto di coltivazione della cannabis su tutto il territorio nazionale risale alla cosiddetta Legge Cossiga, del dicembre 1975, mentre il consumo e il commercio di stupefacenti sono regolati dalla Legge Jervolino-Vassalli del 1990, N.d.R.].

Milioni di persone fumano o ingeriscono marijuana per i suoi effetti euforizzanti, che sono soggettivi e spesso paragonati a una «sbronza» da sostanze alcoliche. Si stima che circa il 30 per cento della popolazione statunitense al di sopra dei 12 anni abbia provato la marijuana, ma che solo il cinque per cento ne faccia abitualmente uso.

Dosi elevate inducono allucinazioni in alcuni individui, ma in altri si limitano a provocare sonnolenza. La marijuana altera la memoria a breve termine e i processi cognitivi, e influisce nega-



Tommy Moorman

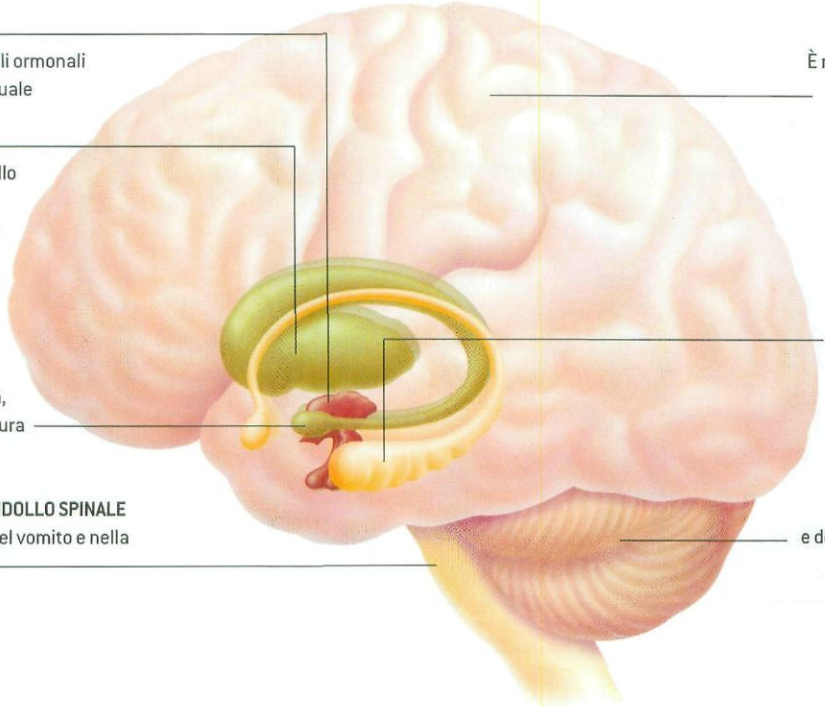
DIVERSITÀ APPARENTI. Malgrado alcune differenze nella struttura chimica, sia il THC, prodotto dalla pianta della marijuana, sia le sostanze cerebrali anandamide e 2-AG attivano lo stesso recettore nel cervello (CB1).

IN SINTESI

- La marijuana e le droghe a essa affini influenzano il comportamento agendo sui recettori di sostanze chimiche chiamate endocannabinoidi che vengono prodotte naturalmente dal nostro cervello.
- Tra i vari processi in cui sono coinvolti, gli endocannabinoidi svolgono un ruolo importante nella regolazione del dolore, dell'ansia, della fame e del vomito. Quest'ampia gamma di effetti spiega come mai l'uso della marijuana appaia in grado di stimolare una miriade di reazioni diverse.
- La speranza dei ricercatori è di sviluppare farmaci che emulano specifiche azioni benefiche degli endocannabinoidi, senza però scatenare gli effetti collaterali indesiderati della marijuana.

DOVE AGISCE LA MARIJUANA

La *Cannabis sativa* si lega ai recettori dei cannabinoidi in molte aree cerebrali diverse, tra cui quelle illustrate qui sotto. Questo ampio spettro spiega i diversi effetti della droga – e delle sostanze a essa analoghe prodotte dal cervello – e offre l'opportunità di concepire cure mirate ad aree specifiche; per il controllo, per esempio, dell'appetito o del dolore.



Alice Chen

tivamente sulla coordinazione motoria, anche se sono inconvenienti reversibili dopo che la sostanza è stata eliminata dal corpo. Inoltre, fumare marijuana crea rischi per la salute paragonabili a quelli del fumo di tabacco.

D'altro canto, questa droga presenta chiari vantaggi terapeutici. La marijuana allevia il dolore e l'ansia. Può prevenire la morte di neuroni danneggiati. Elimina il riflesso del vomito e stimola l'appetito, proprietà molto utili per i pazienti che soffrono della grave perdita di peso causata dalla chemioterapia.

Il principio attivo della marijuana

Capire come fa la marijuana a produrre questa miriade di effetti ha richiesto molto tempo. Nel 1964, dopo quasi un secolo di studi da parte di numerosi ricercatori, Raphael Mechoulam, della Hebrew University di Gerusalemme, ha identificato nel delta-9-tetraidrocannabinolo (THC) il composto responsabile di tutta l'attività farmacologica della marijuana. Il passo successivo è stato identificare il recettore, o i recettori, a cui si lega il THC.

I recettori sono proteine di piccole dimensioni immerse nella membrana di tutte le cellule, neuroni compresi; quando molecole specifiche, i ligandi, si legano a essi, incastrandosi come le tessere di un puzzle, nella cellula si producono dei cambiamenti.

Alcuni recettori presentano dei pori, o canali, idrofili, attraverso i quali gli ioni entrano ed escono dalla cellula. Il funzionamento di questi recettori si basa sulla variazione del potenziale elettrico tra l'interno e l'esterno della cellula. Altri recettori non hanno canali, ma sono accoppiati a proteine specializzate, chiamate «proteine G». I recettori accoppiati alle proteine G costituiscono una grande famiglia che mette in moto una varietà di cascate di segnali biochimici all'interno delle cellule, che spesso provocano cambiamenti nei canali ionici.

Nel 1988, Allyn Howlett e colleghi della St. Louis University hanno fissato un marcatore radioattivo a un derivato chimico del THC, e hanno osservato quale fosse la sua destinazione nel cervello di topo. Essi hanno scoperto che il marcatore si legava a ciò che avrebbe poi preso il nome di recettore dei cannabinoidi, conosciuto anche come CB1. Successivamente, partendo da questi dati e dal lavoro di Miles Herkenham dei National Institutes of Health (NIH), Lisa Matsuda, anch'essa dei NIH, ha clonato il recettore CB1.

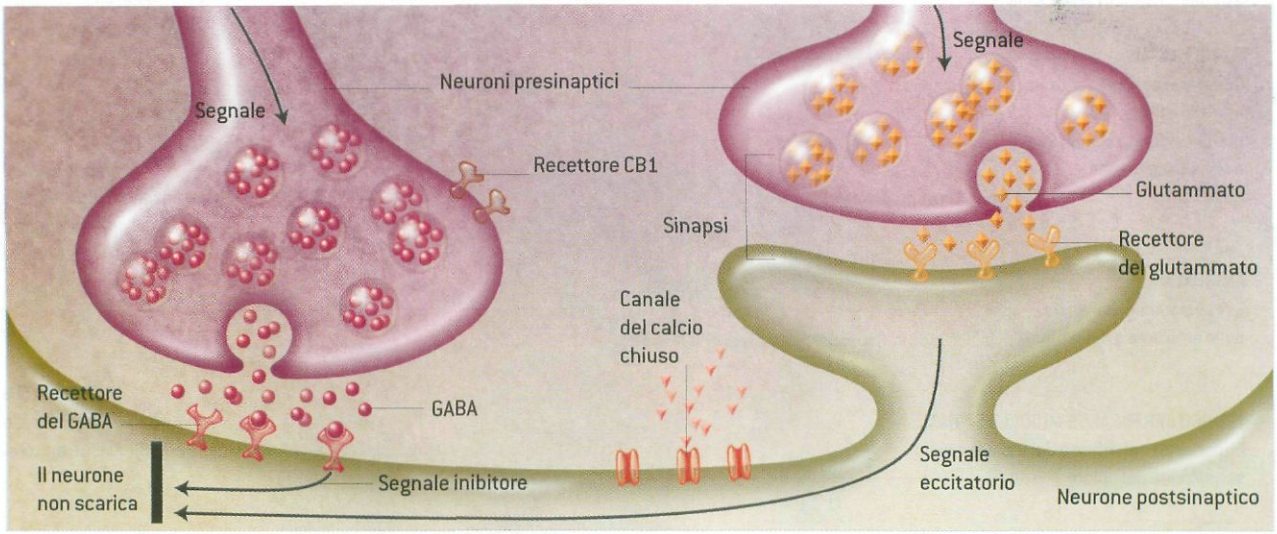
L'importanza di questo recettore nell'azione del THC è stata dimostrata quando due ricercatori che lavoravano indipendentemente – Catherine Ledent della Libera Università di Bruxelles e Andreas Zimmer del Laboratorio di neurobiologia molecolare dell'Università di Bonn – hanno allevato topi privi del recettore. Entrambi i ricercatori hanno scoperto che il THC non aveva praticamente effetto su questi topi: non avendo una sede a cui legarsi, non era in grado di scatenare alcuna attività. In seguito, è stato identificato anche un secondo recettore dei cannabinoidi, il CB2, che opera solo al di fuori del cervello e del midollo spinale, ed è coinvolto nel sistema immunitario.

Approfondendo le indagini sul CB1, i ricercatori hanno capito che era uno dei più abbondanti tra i recettori cerebrali accoppiati alle proteine G. La sua densità più elevata si registra nella corteccia cerebrale, nell'ippocampo, nell'ipotalamo, nel cervelletto, nei gangli basali, nel tronco cerebrale, nel midollo spinale e nell'amigdala.

Questa distribuzione spiega gli eterogenei effetti della marijuana. Il suo potere psicoattivo deriva dalla sua azione nella corteccia cerebrale; le disfunzioni della memoria sono radicate

SEGNALAZIONE RETROGRADA

Recenti ricerche hanno scoperto che i cannabinoidi endogeni sono implicati nella cosiddetta «segnalazione retrograda», una forma di comunicazione molecolare all'interno del cervello sconosciuta in precedenza. Invece di viaggiare in avanti come di consueto, cioè da un neurone presinaptico (che rilascia il neurotrasmettitore) a un neurone postsinaptico (che lo riceve), gli endocannabinoidi fluiscono all'indietro, cioè viaggiano dalla cellula postsinaptica verso quella presinaptica. Per esempio, l'endocannabinoide 2-AG rilasciato da una cellula postsinaptica può indurre un neurone presinaptico a diminuire la secrezione del neurotrasmettitore inibitorio GABA verso la cellula postsinaptica.



nell'ippocampo, struttura essenziale per la formazione dei ricordi. Le disfunzioni motorie sono legate all'azione della sostanza sui centri di controllo del movimento; nel tronco cerebrale e nel midollo spinale, essa provoca la riduzione del dolore, e il tronco cerebrale controlla anche il riflesso del vomito. Infine, l'ipotalamo è implicato nella sensazione di appetito, e l'amigdala nelle risposte emozionali. È evidente che l'ampia gamma di effetti della marijuana è dovuta al fatto che essa agisce un po' ovunque.

Nel tempo, sono anche emersi i dettagli sulla collocazione del CB1 nei neuroni. Eleganti ricerche di Tamás Freund, dell'Istituto di medicina sperimentale dell'Accademia delle scienze ungherese a Budapest, e di Kenneth Mackie, della Washington University, hanno rivelato che il recettore dei cannabinoidi è presente solo in alcuni tipi di neuroni, e in posizioni molto specifiche. Il recettore è densamente stipato nei neuroni che rilasciano GABA (acido gamma-amminobutirrico), che è il principale neurotrasmettitore inibitorio del cervello (è quello che dice ai neuroni riceventi di smettere di scaricare). Il recettore CB1 è presente anche in prossimità della sinapsi, la zona di contatto tra due neuroni, una posizione che indica un coinvolgimento del recettore dei cannabinoidi nella trasmissione dei segnali attraverso le sinapsi che utilizzano il GABA. Ma per quale ragione il sistema di segnali del nostro cervello comprende un recettore per un composto prodotto da una pianta?

La lezione dell'oppio

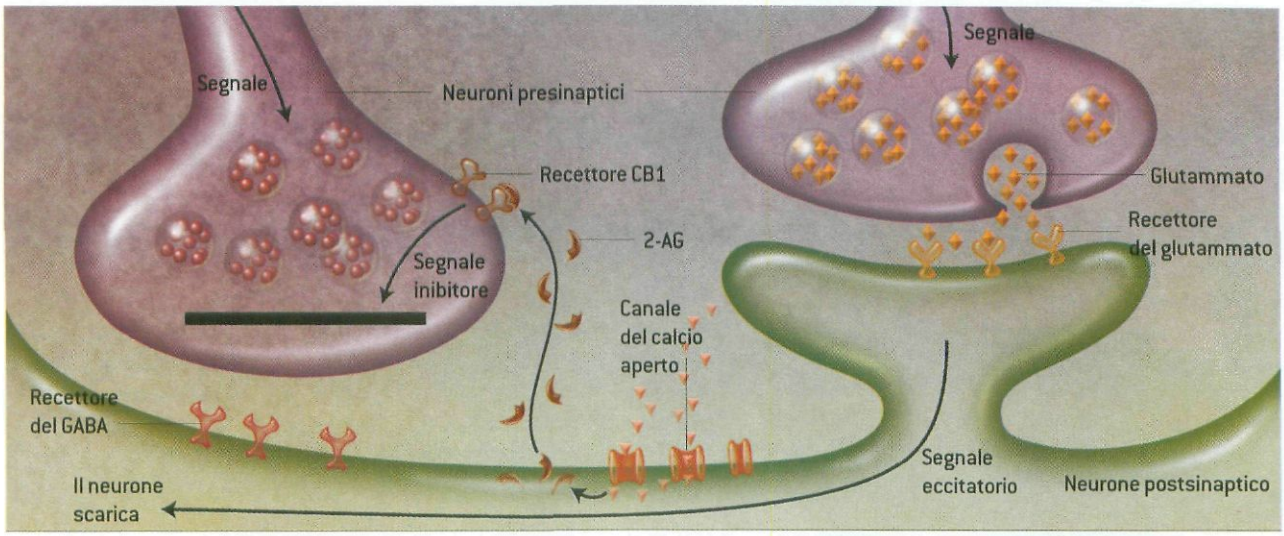
La stessa domanda era già stata sollevata negli anni settanta a proposito della morfina, un composto isolato dal papavero da oppio, che si lega ai cosiddetti recettori oppioidi del cervello. In seguito, si scoprì che noi produciamo i nostri oppioidi: le encefaline e le endorfine. La morfina si era semplicemente impadronita dei recettori degli oppioidi cerebrali.

A quanto pare, nel caso del THC e del recettore dei cannabinoidi succedeva qualcosa di simile. Nel 1992, 28 anni dopo avere identificato il THC, Mechoulam scoprì un piccolo acido grasso prodotto nel cervello capace di legarsi al recettore CB1 e di imitare tutte le attività della marijuana. Lo battezzò anandamide, dal sanscrito *ananda*, che vuol dire beatitudine. In seguito, Daniele Piomelli e Nephi Stella, dell'Università della California a Irvine, hanno scoperto che un altro lipide, il 2-arachidonil-glicerolo (2-AG), in determinate regioni del cervello è addirittura più abbondante dell'anandamide. Insieme, i due composti sono considerati i principali cannabinoidi endogeni, gli endocannabinoidi. (Recenti ricerche hanno identificato altre sostanze che sembrano endocannabinoidi, ma il cui ruolo è ancora incerto). I due recettori dei cannabinoidi si sono evidentemente evoluti insieme agli endocannabinoidi come parte dei sistemi naturali di comunicazione cellulare. Per caso, la marijuana assomiglia abbastanza agli endocannabinoidi da attivarne i recettori.

I neurotrasmettitori classici sono idrosolubili e sono conservati in alte concentrazioni dentro vescicole, in attesa che il neurone li rilasci. Quando un neurone si attiva, inviando un segnale elettrico fino alla terminazione presinaptica, i neurotrasmettitori rilasciati dalle vescicole attraversano un minuscolo spazio intercellulare (la fessura sinaptica) verso i recettori sulla superficie di un neurone ricevente, o postsinaptico. Gli endocannabinoidi, invece, sono dei lipidi, e non vengono immagazzinati ma sintetizzati rapidamente da componenti della membrana cellulare. Essi sono poi rilasciati da punti sparsi in tutta la cellula, quando il livello di calcio all'interno del neurone si eleva o quando sono attivati specifici recettori accoppiati alle proteine G.

Essendo neurotrasmettitori atipici, per diversi anni nessuno riuscì a capire il ruolo dei cannabinoidi nel cervello. Poi, all'inizio degli anni novanta, la risposta saltò fuori in maniera piuttosto indiretta. Alcuni ricercatori (tra cui uno degli autori di questo articolo, Alger, e il suo collega alla School of Medicine dell'Uni-

Se il GABA rilasciato da un neurone presinaptico colpisce una cellula postsinaptica nello stesso momento in cui i segnali eccitatori (come quelli trasportati dal neurotrasmettitore glutammato) raggiungono quella cellula (*a fronte*), il GABA può impedire a quest'ultima di scaricare. Ma se il cambiamento dei livelli di calcio nel neurone postsinaptico innesca la produzione di 2-AG (*sotto*), questo endocannabinoide viaggerà a ritroso verso il suo recettore (CB1) sul neurone produttore di GABA. In un processo conosciuto come soppressione dell'inibizione per depolarizzazione (DSI), esso impedirà il rilascio del GABA consentendo ai segnali eccitatori trasmessi dal glutammato di attivare la cellula postsinaptica.



Per quale ragione il sistema di comunicazione del nostro cervello comprende un **recettore** per una **sostanza prodotta da una pianta**?

versità del Maryland, Thomas Pitler) scoprirono qualcosa di insolito studiando le cellule piramidali, i principali neuroni dell'ippocampo. Dopo che le concentrazioni di calcio all'interno delle cellule si elevavano per un breve intervallo di tempo, diminuivano i segnali inibitori inviati da altre cellule sotto forma di GABA. Nello stesso periodo, Alain Marty, ora al Laboratorio di fisiologia cerebrale all'Università René Descartes a Parigi, osservò la medesima azione in cellule nervose del cervelletto.

Entrambe le scoperte erano piuttosto sorprendenti. Esse indicavano infatti che le cellule riceventi influivano in qualche modo sulle cellule trasmittenti, mentre, per quel che si sapeva, nel cervello adulto i segnali viaggiano attraverso le sinapsi in una sola direzione: dal neurone presinaptico a quello postsinaptico.

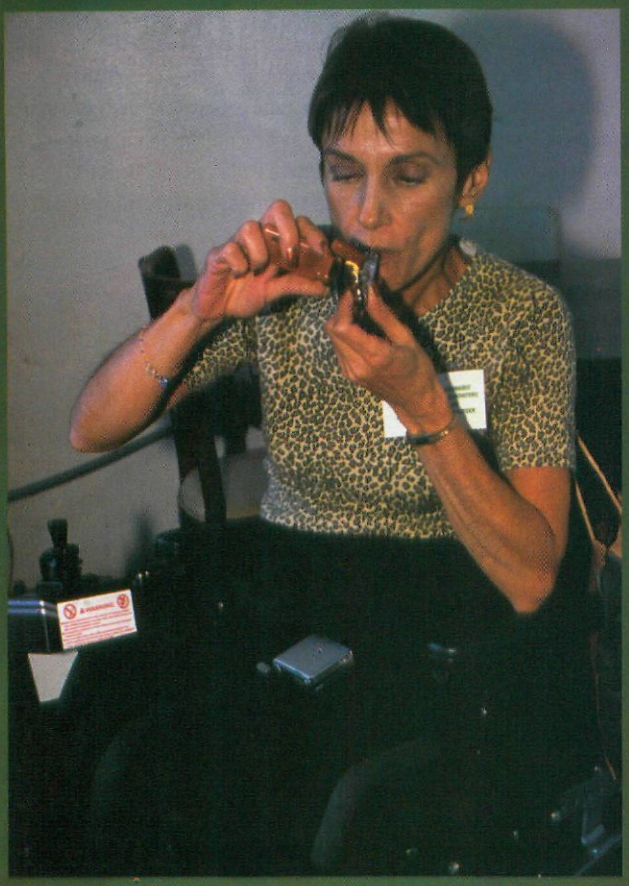
Un nuovo sistema di comunicazione

A quanto pareva, era stato scoperto un nuovo tipo di comunicazione neuronale, che i ricercatori cercarono immediatamente di comprendere meglio. Essi definirono la nuova attività «DSI», da *depolarization-induced suppression of inhibition* (soppressione dell'inibizione indotta dalla depolarizzazione). Perché si verifichi la DSI, qualche messaggero sconosciuto deve viaggiare dalla cellula postsinaptica alla presinaptica, quella che rilascia il GABA, e inibire il rilascio del neurotrasmettitore.

Questo tipo di segnalazione a ritroso, o «retrograda», era conosciuta solamente durante lo sviluppo del sistema nervoso. Se fosse stata implicata anche nelle interazioni tra neuroni nell'adulto, sarebbe stata una scoperta avvincente, un segno che forse altri processi cerebrali implicano una trasmissione retrograda. I segnali retrogradi potrebbero facilitare un tipo di elaborazione dell'informazione neuronale difficile o impossibile da realizzare con la trasmissione sinaptica tradizionale. Era pertanto importante conoscere le proprietà del segnale retrogrado, la cui identità rimaneva però elusiva. Negli anni, sono state proposte innumerevoli molecole più o meno strane, ma nessuna funzionava come previsto.

Poi, nel 2001, uno di noi (Nicoll), Rachel Wilson, sua collega all'Università della California a San Francisco – e contemporaneamente, ma indipendentemente, un gruppo guidato da Masanobu Kano dell'Università di Kanazawa in Giappone – hanno scoperto che un endocannabinoide, probabilmente il 2-AG, risponde perfettamente ai criteri del messaggero sconosciuto. Ambedue i gruppi hanno scoperto che un farmaco che blocca i recettori dei cannabinoidi sulle cellule presinaptiche previene la DSI e, viceversa, che i farmaci che attivano il CB1 imitano la DSI. Hanno poi dimostrato, e non sono stati i soli, che topi privi dei recettori dei cannabinoidi sono incapaci di DSI. Il fatto che i recettori siano localizzati sui terminali presinaptici dei neuroni GABAergici a questo punto ha perfettamente senso: i recettori sono predisposti per rilevare e rispondere agli endocannabinoidi rilasciati dalle membrane di cellule postsinaptiche vicine.

La DSI si è quindi rivelata un aspetto importante dell'attività cerebrale. Bloccare temporaneamente l'inibizione accresce una forma di apprendimento conosciuta come «potenziamento a



Jeff Albertson/Corbis

ERBA ANTINAUSEA. Una malata di cancro fuma marijuana per alleviare la nausea provocata dalla chemioterapia. Sostanze farmacologiche in grado di potenziare o di bloccare effetti specifici dei cannabinoidi prodotti naturalmente dal cervello potrebbero favorire il trattamento di una serie di patologie, come quelle elencate qui a fianco.

In quali malattie possono essere d'aiuto i cannabinoidi

ANSIA. Alcuni esperimenti indicano che un numero troppo esiguo di recettori degli endocannabinoidi, oppure una produzione insufficiente di queste sostanze naturali, si accompagnano all'ansia cronica e al disturbo postraumatico da stress. Per mitigare l'ansia, si sta studiando un sistema per impedire la degradazione dell'anandamide, in modo da aumentare la quantità di questo endocannabinoide potenzialmente disponibile ad agire sui recettori.

APPETITO E OBESITÀ. È stato dimostrato che il farmaco antinausea dronabinal, a base di cannabinoidi, stimola l'appetito nei pazienti immunosoppressi. Un antagonista – un composto che blocca i recettori dei cannabinoidi – potrebbe perciò eliminare l'appetito. Trial clinici con uno degli antagonisti si sono rivelati promettenti, anche se per ora si manifestano molti effetti collaterali.

NAUSEA. Diversi farmaci già in commercio, come il dronabinal e il nabilone, sono simili alla componente attiva della marijuana, il THC, e riducono la nausea associata alla chemioterapia.

DISTURBI NEUROLOGICI. La dopamina, un neurotrasmettitore importante nei centri del piacere e nella regolazione del movimento, innesca il rilascio degli endocannabinoidi. Regolandone l'attività, i ricercatori sperano di curare il morbo di Parkinson, la dipendenza da droghe e altre patologie riguardanti il sistema della dopamina.

DOLORE. In molti centri cerebrali del dolore è stato osservato un gran numero di recettori dei cannabinoidi; eventuali farmaci che agiscano su questi recettori potrebbero perciò contribuire a placare il dolore.

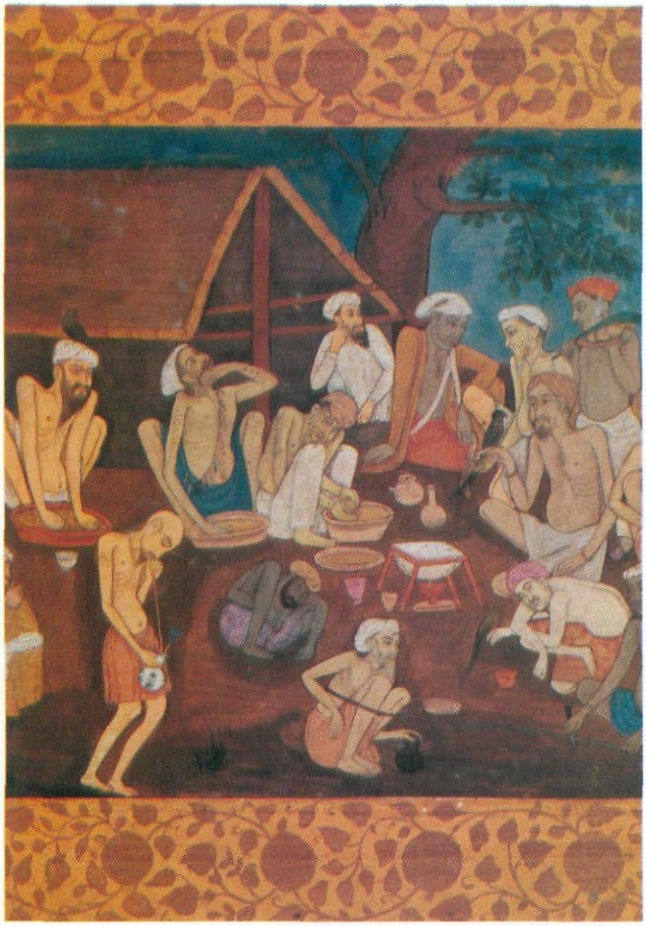
lungo termine», il processo di rinforzo delle sinapsi che permette di archiviare informazione. Questo immagazzinamento e trasferimento dell'informazione spesso coinvolge piccoli gruppi di neuroni più che grandi popolazioni neuronali, e gli endocannabinoidi sono molto adatti ad agire su queste piccole agglomerazioni. Trattandosi di molecole liposolubili, nell'ambiente acquoso extracellulare del cervello essi non si diffondono a grande distanza. I meccanismi di captazione e di degradazione assicurano che agiscano in uno spazio confinato e per un breve periodo. La DSI, che è un effetto locale di poca durata, consente quindi a singoli neuroni di scollegarsi brevemente dai loro vicini e codificare informazione.

Altri dati sono venuti a colmare ulteriori lacune nella comprensione della funzione cellulare degli endocannabinoidi. I ricercatori hanno dimostrato che quando questi neurotrasmettitori si legano ai recettori CB1 possono impedire alle cellule presinaptiche di rilasciare i neurotrasmettitori eccitatori. Nel cervelletto, come hanno scoperto Anatol Kreitzer, ora alla Stanford University, e Wade Regehr, della Harvard University, gli endocannabinoidi localizzati sulle terminazioni nervose eccitatorie regolano l'enorme numero di sinapsi coinvolte nella coordinazione motoria e nella integrazione sensoriale. Questo coinvolgimento spiega almeno in parte la lieve disfunzione motoria e le alterate percezioni sensoriali spesso associate al consumo di marijuana.

Scoperte recenti hanno anche iniziato a stabilire un nesso preciso tra l'attività neuronale degli endocannabinoidi e i loro effetti comportamentali e fisiologici. Gli scienziati che studiano le basi biologiche dell'ansia in genere addestrano i roditori ad associare un particolare segnale a un evento che provoca paura. Per esempio, somministrano una breve e lieve scossa alle zampe producendo contemporaneamente un suono. Dopo un po', l'animale, udendo il suono, si paralizzerà in attesa dello shock. Ma se il suono viene riproposto più volte senza essere seguito dallo shock, il roditore smette di spaventarsi: disimpara il condizionamento alla paura, in un processo detto estinzione. Nel 2003, Giovanni Marsicano, del Max-Planck-Institute für Psychiatrie di Monaco, ha dimostrato che i topi privi dei normali CB1 imparano presto ad aver paura del suono correlato allo shock, ma contrariamente a quelli con i CB1 integri, non disimparano a temere il suono quando non è più accoppiato alla scossa.

I risultati indicano che gli endocannabinoidi sono importanti nell'estinzione delle emozioni negative e del dolore innescati dal ricordo di esperienze passate. Un'implicazione di queste scoperte è che un numero anormalmente basso di recettori dei cannabinoidi oppure un difetto nel rilascio dei cannabinoidi endogeni siano coinvolti in patologie come la sindrome postraumatica da stress o le fobie e in certe forme di dolore cronico. Questa ipotesi si concilia bene con il fatto che alcune persone fumano marijuana come ansiolitico.

Si può anche immaginare, anche se è tutto da dimostrare, che composti chimici che imitino queste sostanze naturali ci permettano di «cancellare il passato» quando i segnali che abbiamo imparato ad associare a pericoli hanno perso di significato.



Stapleton Collection/Corbis

STORIA E CULTURE. La storia della marijuana è antica di secoli, ed esistono documentazioni scritte di un suo uso medicinale sia nell'antica Cina sia nell'Egitto dei faraoni. Nel dipinto in alto, della metà del Settecento, un gruppo di fachiri indiani è impegnato nella preparazione di bhang e ganja.

GLI AUTORI

ROGER A. NICOLL e BRADLEY E. ALGER hanno iniziato a collaborare negli anni settanta, quando Nicoll si era appena trasferito all'Università della California a San Francisco, dove ora insegna farmacologia, e Alger, attualmente docente di fisiologia e psichiatria alla School of Medicine dell'Università del Maryland, fu il suo primo specializzando. Nicoll fa parte della National Academy of Sciences e ha recentemente vinto l'Heinrich Wieland Award.

PER APPROFONDIRE

JOY J. E., WATSON S. J., Jr., e BENSON J. A., Jr. (*a cura*), *Marijuana and Medicine*, Institute of Medicine, National Academy Press, 1999.

WILSON R. I. e NICOLL R. A., *Endocannabinoid Signaling in the Brain*, in «Science», Vol. 296, pp. 678-682, 26 aprile 2002.

ALGER B. E., *Retrograde Signaling in the Regulation of Synaptic Transmission: Focus on Endocannabinoids*, in «Progress in Neurobiology», Vol. 68, n. 4, pp. 247-286, novembre 2002.

ZIMMER L., MORGAN J. P., *Marijuana Myths, Marijuana Facts: A Review Of The Scientific Evidence*, The Lindensmith Center, 1997.

GRINSPOON L. e BAKALAR J. B., *Marijuana, la medicina proibita*, Editori Riuniti, 2002.

Altre informazioni disponibili al sito: www.marijuana-info.org.

Concepire nuove terapie

Il catalogo della marijuana cerebrale non è completo, ma le scoperte sugli endocannabinoidi cominciano a orientare verso terapie capaci di sfruttare le proprietà medicinali della pianta. Analoghi sintetici del THC come il nabilone e il dronabinolo sono già in commercio: combattono la nausea da chemioterapia. In più, il dronabinolo stimola l'appetito nei malati di AIDS. Altri cannabinoidi sono sedativi del dolore in vari disturbi. E un antagonista del CB1 ha funzionato in alcuni trial clinici per il trattamento dell'obesità. Tuttavia questi farmaci, pur essendo promettenti, hanno tutti effetti multipli, perché non sono specifici della regione da colpire, e quindi causano reazioni avverse quali capogiro, sonnolenza, problemi di concentrazione e confusione mentale.

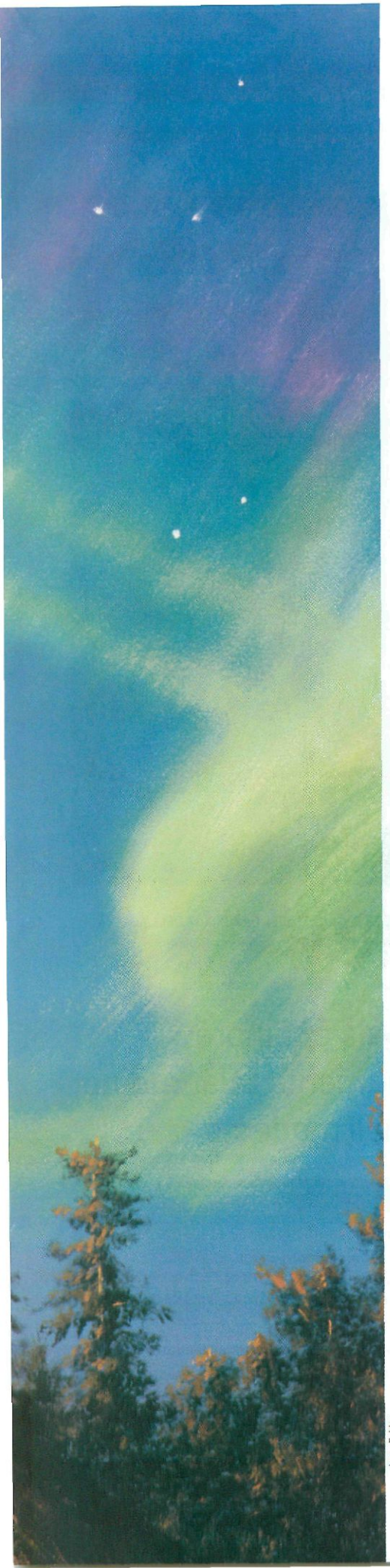
Una strategia per aggirare questi problemi è quella di potenziare il ruolo dei cannabinoidi prodotti dal corpo. In questo caso, gli endocannabinoidi verrebbero chiamati in causa solo nelle circostanze e nelle sedi opportune, evitando così i rischi di un'attivazione diffusa e indiscriminata dei loro recettori. Piomelli e colleghi stanno sviluppando farmaci che impediscano all'endocannabinoide anandamide di essere degradato dopo il rilascio dalle cellule, in modo da prolungarne gli effetti ansiolitici.

L'anandamide sembra l'endocannabinoide più abbondante in alcune regioni del cervello, mentre il 2-AG è dominante in altre. Una migliore conoscenza delle vie chimiche che producono ciascuno dei due endocannabinoidi potrebbe portare a farmaci attivi solo sull'uno o sull'altro. Inoltre, sappiamo che gli endocannabinoidi non vengono prodotti quando i neuroni si attivano una singola volta, ma solo quando scaricano cinque o addirittura dieci volte di seguito. Potrebbero così essere messi a punto farmaci che modificano la frequenza di scarica e dunque il rilascio di endocannabinoidi. Un precedente di successo è la classe degli agenti anticonvulsivanti, che sopprimono l'iperattività neuronale delle crisi epilettiche senza però influire sull'attività normale.

Infine, metodi indiretti potrebbero agire sui processi di regolazione degli endocannabinoidi. È noto che la dopamina è il trasmettitore mancante nel morbo di Parkinson, ma anche che è una protagonista nei sistemi di ricompensa del cervello. Molte delle sostanze che provocano piacere o dipendenza, tra cui la nicotina e la morfina, producono in parte i loro effetti causando il rilascio di dopamina in diversi centri cerebrali. Si è scoperto che questo trasmettitore è in grado di stimolare il rilascio di endocannabinoidi, e vari gruppi di ricerca hanno osservato che anche altri due neurotrasmettitori, il glutammato e l'acetilcolina, innescano la sintesi e il rilascio di endocannabinoidi.

In realtà, non è escluso che gli endocannabinoidi siano responsabili di effetti che in precedenza erano stati attribuiti esclusivamente a questi neurotrasmettitori. Piuttosto che puntare direttamente sul sistema degli endocannabinoidi, si potrebbero quindi concepire farmaci che influiscono sui neurotrasmettitori tradizionali. Le differenze locali nei sistemi dei neurotrasmettitori potrebbero essere sfruttate per garantire il rilascio degli endocannabinoidi solo dove sono necessari e nella giusta quantità.

Lo studio degli effetti della marijuana ha portato a svelare la storia, ancora incompleta, degli endocannabinoidi. Poiché il recettore CB1 sembra presente in tutti i vertebrati, probabilmente i sistemi che usano la marijuana cerebrale esistono da almeno 500 milioni di anni, durante i quali gli endocannabinoidi si sono adattati per compiere molte, e diverse, funzioni. Per ora, sappiamo che non influiscono sullo stimolo della paura ma sul suo oblio; che non alterano la capacità di mangiare ma la desiderabilità del cibo, e così via. La loro presenza in parti del cervello associate a un comportamento motorio complesso, alla cognizione, all'apprendimento e alla memoria significa però che c'è ancora molto da scoprire sull'uso che l'evoluzione ha fatto di questi interessanti messaggeri cerebrali.



Dinosauri nell'Alaska

Oltre 70 milioni di anni fa, un gruppo di dinosauri particolarmente tenaci riuscì a prosperare nell'aspro clima di quello che oggi è l'Alaska settentrionale

di Anthony R. Fiorillo

Ancora una spolverata e l'osso fu completamente visibile. Davanti a me c'era il muso di un *Pachyrhinosaurus*, un dinosauro cornuto particolarmente bizzarro, raro parente del triceratopo. Non era il primo fossile di quella specie a essere ritrovato in Alaska, ma in questo cranio riuscivo già a scorgere parti che non si erano conservate negli altri reperti. Continuando gli scavi nel sito saremmo poi riusciti a portare alla luce le ossa e i denti di almeno altre tre specie di dinosauri, e ci sarebbe voluto almeno un altro anno prima che mi accorgessi che ci stavamo muovendo sopra altri sette crani di *Pachyrhinosaurus*. Più o meno coetanei, gli animali erano probabilmente morti insieme durante una piena improvvisa o qualche altro evento catastrofico. Questo raggruppamento era la prima prova del fatto che i dinosauri cornuti insediati a nord del Circolo Polare Artico avevano un comportamento gregario.

Larry Felder

SI CHIAMAVA *TROODON*, IL PIÙ TEMIBILE PREDATORE del Cretaceo in Alaska. Di 2-3 metri di lunghezza, questo dinosauro vedeva il mondo attraverso occhi insolitamente grandi, una caratteristica che forse ha favorito il suo successo di cacciatore durante i lunghi, bui mesi invernali della regione artica.

Ero arrivato in quel luogo sperduto, un promontorio sul fiume Colville, nell'estate del 2002, insieme ad altri colleghi del Dallas Museum of Natural History, della Southern Methodist University e dell'Università dell'Alaska, per scavare il cranio di un *Pachyrhinosaurus* che avevo trovato l'anno precedente. Il sito era stato scoperto quasi un decennio prima da ricercatori dell'Università dell'Alaska, e cominciavamo a sospettare che contenesse un'enorme quantità di fossili preziosi.

Finora nessuno ha ancora scavato uno scheletro completo di dinosauro in Alaska. Tuttavia, partendo da scheletri incompleti, ossa isolate, denti e impronte fossili è stato possibile identificare otto tipi di dinosauri che vissero contemporaneamente nell'estremo nord. Tutti e otto risalgono al Cretaceo – durato da 145 a 65 di milioni di anni fa – e soprattutto all'ultima parte di quel periodo, tra 75 milioni e 70 milioni di anni fa, vale a dire circa cinque milioni di anni prima della famosa estinzione di massa che avrebbe cancellato i dinosauri dalla faccia del pianeta.

Il nostro lavoro è ancora alle prime fasi, ma abbiamo già iniziato a mettere a fuoco alcuni dettagli su quei dinosauri vissuti in capo al mondo milioni di anni fa, e su come riuscirono a sopravvivere ai rigori dell'Artico.

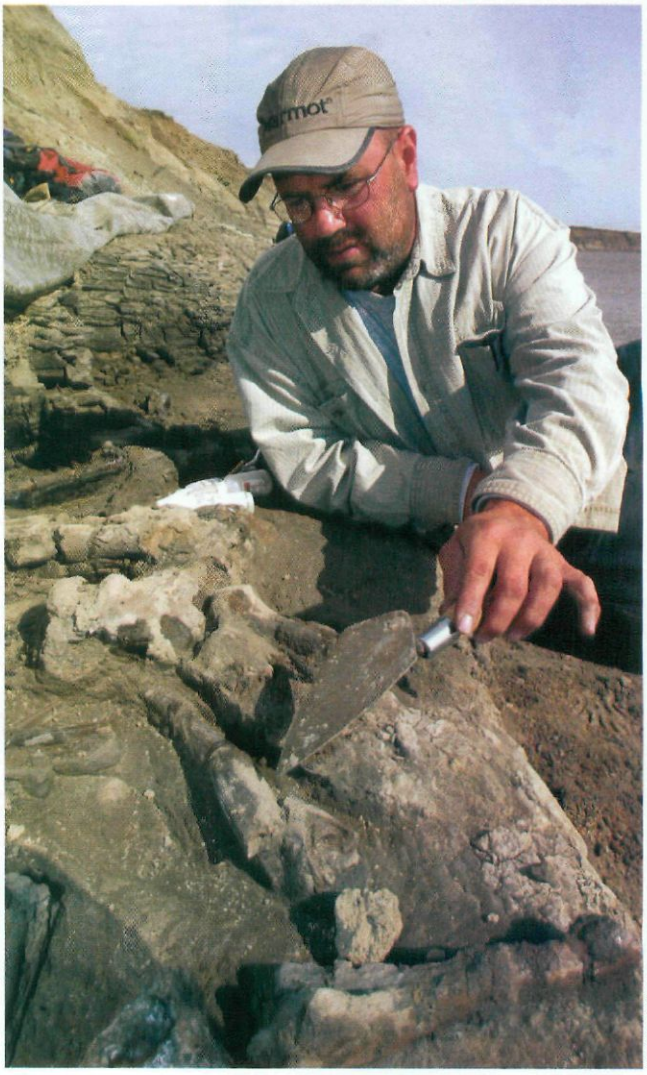
Personaggi e interpreti

Quattro delle specie che abbiamo scoperto si nutrivano di piante, e altre quattro, classificate tra i teropodi, predavano i dinosauri erbivori e altri animali. L'area di gran lunga più ricca dell'Alaska per quanto riguarda i fossili di entrambi i tipi si trova nella parte settentrionale dello Stato, la cosiddetta North Slope. Il tipo più comune, e quindi meglio caratterizzato, è l'adrosauro a becco d'anatra *Edmontosaurus*.

Grandi dinosauri erbivori, gli adrosauri sono detti «a becco d'anatra» per il loro muso ampio e piatto; a differenza delle anatre, però, avevano centinaia di denti per tritare finemente le piante coriacee di cui si nutrivano. Sapevano alzarsi sulle zampe posteriori per raggiungere il fogliame più alto, ma per spostarsi usavano tutte e quattro le zampe, e probabilmente avevano un'andatura un po' traballante, perché gli arti posteriori erano più lunghi di quelli anteriori. Molti adrosauri avevano il capo crestato, ma non è il caso di *Edmontosaurus*, che, con un peso che si aggirava intorno alla tonnellata e mezza, è uno tra i più grandi adrosauri scoperti nel Nord America. Come altri adrosauri, erano animali sociali, che vivevano in branchi; lo si deduce dai mucchi di ossa trovati in varie località dell'Alaska settentrionale, che fanno pensare a gruppi sorpresi da un'improvvisa inondazione.

Tutte le specie scoperte finora in Alaska sono state ritrovate anche in altre località del Nord America occidentale, ragion per cui non si può parlare dei dinosauri della regione come di specie distinte. Ma alle latitudini settentrionali il numero di specie presenti è minore, una riduzione della biodiversità via via che aumenta la latitudine analoga a ciò che si riscontra nelle popolazioni animali moderne e che, allora come oggi, potrebbe essere una funzione delle limitate risorse disponibili all'estremo nord.

L'Alaska non è comunque il solo luogo dove sorprende scoprire dinosauri. Nella regione polare australe, Judd Case del St. Mary's College of California e colleghi stanno trovando resti di dinosauri in rocce di età simile, tra cui resti di teropodi e adro-



Al Grillo/AP Photo

KEVIN MAY, PALEONTOLOGO DEL MUSEO DELL'UNIVERSITÀ DELL'ALASKA, mentre scava il fossile di un adrosauro lungo il fiume Colville, nella regione più settentrionale dello Stato. I reperti di questi robusti dinosauri erbivori sono i più comuni tra quelli trovati nella zona.

Alle latitudini settentrionali il numero di specie è minore: la biodiversità si riduce via via che aumenta la latitudine, proprio come accade nelle popolazioni animali moderne

IN SINTESI

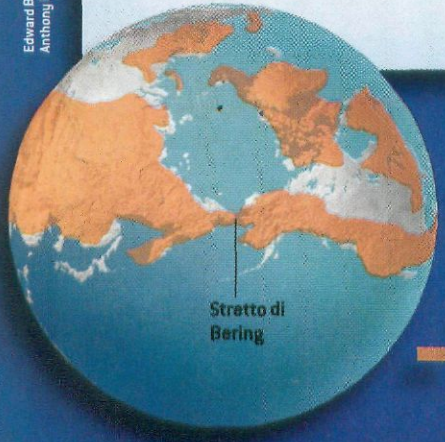
- Negli ultimi vent'anni i paleontologi hanno scoperto che l'Alaska settentrionale è stata dimora di una notevole popolazione di dinosauri.
- Finora gli scienziati hanno ritrovato otto specie che vissero qui tra 75 e 70 milioni di anni fa.
- Queste creature devono essere state capaci di adattamenti che hanno permesso loro di sopravvivere ai lunghi mesi di oscurità e freddo del grande Nord. Dagli scavi dei paleontologi stanno iniziando a emergere alcuni indizi su quali potessero essere queste speciali caratteristiche.

DINOSAURI IN CAPO AL MONDO

Durante il Cretaceo, circa 80 milioni di anni fa, tra i continenti asiatico e nordamericano esisteva un ponte di terra emersa, o istmo, in posizione corrispondente all'attuale Stretto di Bering (*regioni colorate nel planisfero in basso a sinistra*). Probabilmente i dinosauri giunsero in Nord America attraverso questo passaggio. Alcuni di essi si insediarono all'estremo nord, mentre altri puntarono a sud. Nell'Alaska di oggi, l'autore e altri paleontologi ricercano i resti fossili delle creature che scelsero di abitare così vicino al Polo Nord. Uno dei siti più ricchi di ossa è la Liscomb Quarry (*foto in alto a destra*), dove è stato rinvenuto anche un gruppo di giovani dinosauri a becco d'anatra, o adrosauri (*alcuni fossili nella foto in basso a destra*), che probabilmente morirono insieme, forse a causa di un'improvvisa inondazione. La scorsa estate l'autore e i suoi colleghi hanno scoperto in un'area più meridionale dell'Alaska, l'Aniakchak National Monument, impronte di un piccolo dinosauro predatore risalenti a 95 milioni di anni fa. Le tracce appaiono bianche nella fotografia a causa del materiale usato per riprodurre i calchi delle antiche impronte.

Liscomb Quarry

Impronte di dinosauro rinvenute presso il fiume Kaolak



Masse continentali, 75 milioni di anni fa

Impronte di dinosauro all'Aniakchak National Monument e calco (*a destra*)

Ossa degli arti anteriori di tre giovani adrosauri a Liscomb Quarry

Edward Bell e Tommy Moorman (*mappe*); C.R. Scotese, © 2003 Paleomap Project (*dati sui continenti*); Anthony R. Fiorillo (*quarry e impronte*); Karen Morton/Dallas Museum of Natural History (*ossa*)

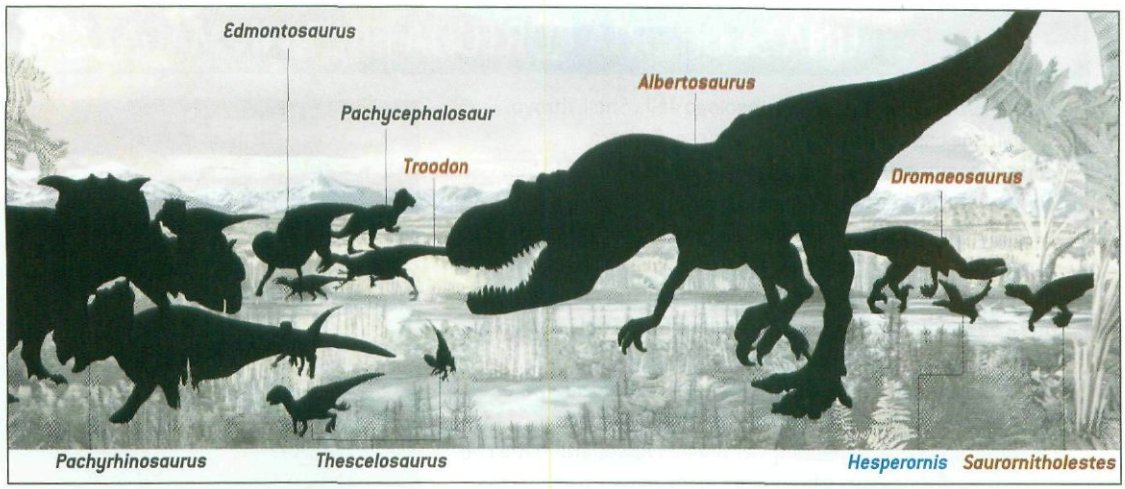
sauri. Patricia Vickers-Rich e Thomas Hewitt Rich della Monash University hanno identificato dinosauri vissuti vicino al Polo Sud in un'epoca molto precedente (si veda l'articolo *I dinosauri polari dell'Australia*, di Patricia Vickers-Rich e Thomas Hewitt Rich, in «Le Scienze» n. 301, settembre 1993).

Come sono arrivati fin lì?

Come hanno fatto i dinosauri a ritrovarsi all'estremo nord del pianeta? È probabile che fossero arrivati dall'Asia, poiché le forme ancestrali di quasi tutte le famiglie di dinosauri scoperte in Nord America esistevano già in Asia. Molti paleontologi ritengono che alcuni di questi dinosauri siano migrati attraversando un ponte di terra emerso per un abbassamento del livello del mare dove oggi c'è lo Stretto di Bering (*si veda il box a p. 71*). La configurazione delle zolle continentali durante il Cretaceo fa pensare che fossero nella posizione adatta per consentire la formazione di un ponte di terra non prima di 100 milioni di anni fa, e che l'istmo sia emerso fino a tre volte durante quel periodo. Alcuni dei dinosauri immigrati probabilmente rimasero nell'estremo nord perché l'ambiente bastava alle loro necessità, mentre altri fecero rotta verso sud. Solo una specie sembra avere imboccato una strada differente: *Alamosaurus*, un dinosauro erbivoro della lunghezza di circa 20 metri, che sembra esservi arrivato seguendo un percorso di migrazione meridionale, poiché resti dei suoi predecessori si ritrovano in Sud America e in Africa.

L'Alaska è costituita da enormi blocchi geologici, alcuni dei quali ebbero origine molto lontano dalla loro attuale posizione. Durante il Cretaceo, comunque, molti di questi blocchi erano in prossimità delle loro attuali posizioni, o a una latitudine maggiore. Perciò i fossili di dinosauro trovati in Alaska non vi furono trasportati da lontano in un'epoca successiva alla loro morte, ma vissero alle alte latitudini durante il Cretaceo. Ma vi rimanevano per tutto l'anno? E se è così, come facevano a sopravvivere?

ALASKA, CIRCA 75 MILIONI DI ANNI FA. Quattro specie erbivore (*nomi in nero*) e quattro di predatori (*in rosso*) condividevano un habitat punteggiato di cipressi e altre specie arboree simili alle sequoie. Le vette innevate sullo sfondo sono quelle dei monti Brooks. In basso a destra un uccello (*Hesperornis*) sfugge al piccolo predatore *Saurornitholestes*.



Karen Carr

UNA SCOPERTA FORTUITA FINITA IN MAGAZZINO

Nel 1961 Robert L. Liscomb, geologo della Shell, ritrovò alcune ossa di un dinosauro a becco d'anatra, *Edmontosaurus*. Quelle ossa sono straordinariamente ben conservate, ma dato che Liscomb e i suoi colleghi non erano dei paleontologi, le identificarono come reperti di mammiferi molto più recenti. Liscomb morì l'anno successivo a causa di una frana, e le sue scoperte languirono a lungo in un magazzino. A metà degli anni ottanta, Henry Roehler e Gary Stricker dello US Geological Survey scoprirono resti frammentari di dinosauri, come impronte fossili di pelle, nell'Alaska nord-occidentale. Poco dopo lo USGS venne in possesso della collezione di ossa di Liscomb: Charles A. Repenning riconobbe immediatamente che si trattava di dinosauri, e le squadre di rilevamento dello USGS localizzarono l'area in cui Liscomb aveva fatto il suo lavoro iniziale. Alla fine degli anni ottanta, il Museo di paleontologia dell'Università della California e il Museo dell'Università dell'Alaska continuarono il lavoro sul campo in quest'area remota, con altri ritrovamenti che indicavano la presenza di resti abbondanti di dinosauri e altri animali. Dato il mio interesse negli ecosistemi dei dinosauri delle alte latitudini boreali, fui invitato a partecipare al progetto nel 1998, e ho continuato a compiere spedizioni di ricerca in Alaska ogni anno, a cominciare da allora, allargando recentemente la mia ricerca in alcuni dei parchi nazionali di quello Stato.

Dawn Roberts

Affrontare il freddo

Per rispondere a queste domande bisogna sapere com'era il clima in Alaska intorno a 70 milioni di anni fa. All'epoca, il mondo era senz'altro più caldo di oggi, ma il clima alle alte latitudini era comunque aspro, con inverni gelidi e nevosi e lunghi mesi di oscurità. I dati climatologici dedotti da polline, foglie e legni fossili indicano che le foreste cretacee del nord erano costituite da conifere decidue con un sottobosco di piante con fiore, felci e cicadacee. Poiché oggi le foreste miste di conifere occupano una gamma ampia ma ben definita di climi con temperature annue medie tra i 3 e i 13 gradi, è probabile che la temperatura annua media dell'Alaska settentrionale durante il Cretaceo non fosse troppo diversa.

Uno degli aspetti più caratteristici delle regioni artiche moderne è l'angolo di incidenza della luce solare e la lunghezza del giorno, a cui ci si riferisce erroneamente come sei mesi di luce e sei di oscurità. In realtà, a nord del Circolo Polare Artico l'oscurità occupa una parte sempre più lunga del giorno fino al solstizio d'inverno (22 dicembre), quando il Sole non sorge affatto. Durante il Cretaceo, l'Alaska settentrionale si trovava ancora più a nord di oggi, quindi i dinosauri dovevano essersi adattati in modo da far fronte sia al freddo sia all'oscurità.

Non sappiamo ancora esattamente come abbiano fatto a sopravvivere. Sembra poco probabile che un adrosauro di 10 metri scavasse una buca nel suolo e andasse in letargo. Tuttavia, in periodi di stress ambientale, alcuni animali sono in grado di abbassare i loro ritmi metabolici abbastanza da ridurre la necessità di cibo; forse i dinosauri artici facevano qualcosa di simile senza raggiungere un letargo vero e proprio.

Per spiegare la sopravvivenza degli adrosauri ai climi artici, Nicholas Hotton III, della Smithsonian Institution, aveva ipotizzato che in inverno migrassero per migliaia di chilometri in cerca di cibo, temperature più miti e migliori condizioni di luce. Per confermare questa teoria, alcuni ricercatori hanno preso come esempio il moderno caribù, animale che migra a lunga distanza.

Per indagare sull'ipotesi della migrazione stagionale degli adrosauri, Roland Gangloff del Museo dell'Università dell'Alaska e io abbiamo deciso di esaminare la validità dell'analogia tra caribù e adrosauri. Per prima cosa, abbiamo confrontato le dimensioni corporee di adulti e giovani in tre mandrie artiche di caribù, scoprendo che al momento in cui iniziano le migrazioni i giovani caribù hanno raggiunto l'80-85 per cento della lunghezza di un esemplare adulto, e il 53-74 per cento della massa.

Poi siamo passati ai fossili di adrosauro. La struttura cellulare delle ossa mostra chiaramente che gli adrosauri di piccola taglia erano esemplari giovani di almeno un anno di età, e non una popolazione nana da alte latitudini. La lunghezza delle ossa degli esemplari giovani indica che arrivavano al 27-37 per cento delle dimensioni adulte e forse all'11 per cento della massa di un adulto. A un anno di età, i giovani adrosauri erano quindi molto più piccoli di quanto siano i giovani caribù all'epoca della migrazione stagionale. Di conseguenza, basandosi solo su considerazioni biomeccaniche, sembra poco plausibile che gli adrosauri artici migrassero per grandi distanze. Tuttavia non abbiamo trovato nidi o uova, scoperta che avrebbe invece confermato che i dinosauri rimanevano all'estremo nord per tutta la durata dell'anno.

Ma se vi restavano per tutto l'anno, di che cosa si nutrivano durante i mesi invernali? Presumiamo che i predatori continuassero a mangiare carne, visto che l'usura dei denti non indica un cambiamento stagionale di dieta. Quanto ai dinosauri erbivori, non sappiamo esattamente quale fosse la loro alimentazione, ma *Edmontosaurus* ci permette di fare qualche ipotesi, perché aveva un areale di distribuzione che andava dall'Alaska settentrionale alla parte occidentale del Texas, e che è confrontabile con quello di un altro vertebrato erbivoro di oggi, la pecora delle Montagne Rocciose. La dieta delle pecore che vivono a latitudini più meridionali è meno varia di quella degli animali che si trovano più a

L'AUTORE

ANTHONY R. FIORILLO si è specializzato in paleontologia dei vertebrati all'Università della Pennsylvania nel 1989. Nel 1995, dopo brevi periodi al Carnegie Museum of Natural History e al Museum of Paleontology dell'Università della California a Berkeley si è trasferito a Dallas, dove è curatore di scienze della Terra presso il Dallas Museum of Natural History e professore associato alla Southern Methodist University.

PER APPROFONDIRE

CURRIE P. J. e PADIAN K. (*a cura*), *Encyclopedia of Dinosaurs*, Academic Press, 1997.
SCOTCHMOOR J. G., SPRINGER D. A., BREITHAUPT B. H. e FIORILLO A. R., *Dinosaurs: The Science behind the Stories*, American Geological Institute, 2002.
RICH T. H., VICKERS-RICH P. e GANGLOFF R. A., *Polar Dinosaurs*, in «Science», Vol. 295, pp. 979-980, 2002.
www.dallasdino.org/exhibits/alaska/default.asp.

UN ELICOTTERO CHINOOK dell'esercito americano solleva un contenitore che custodisce parti di tre crani di *Pachyrhinosaurus* riportati alla luce a Liscomb Quarry. Durante una missione di addestramento, l'equipaggio dell'elicottero ha portato in salvo i ricercatori in occasione di una piena del fiume Colville, che aveva inondato il campo di Liscomb Quarry e minacciava di spazzare via i paleontologi insieme ai fossili che avevano appena scavato. A fronte, l'autore, Anthony Fiorillo, scava un cranio di *Pachyrhinosaurus* a Liscomb Quarry.

Anthony R. Fiorillo

nord, probabilmente perché la maggiore abbondanza di risorse consente un certo grado di selettività. Allo stesso modo, gli *Edmontosaurus* che vivevano in Alaska potrebbero avere avuto una dieta molto più diversificata delle loro controparti meridionali.

Se i dinosauri non compivano migrazioni stagionali, allora erano presumibilmente adattati in modo da resistere alla costante permanenza alle alte latitudini. E *Troodon* ne è, al momento, l'esempio più chiaro. Questo piccolo dinosauro carnivoro, noto principalmente per i suoi denti, è raro in regioni più meridionali, come Alberta, Montana e Texas. Viceversa, denti isolati di questo animale sono molto comuni in Alaska, il che suggerisce che la popolazione fosse cospicua e diffusa. Ciò che differenzia *Troodon* – a qualsiasi latitudine – dagli altri dinosauri predatori sono gli occhi eccezionalmente grandi. Negli animali moderni, occhi sproporzionatamente grandi tendono a rappresentare una forma di adattamento per la vita in condizioni di bassa luminosità. *Troodon* potrebbe essere stato «preadattato» alle difficili condizioni dell'ambiente di alta latitudine, il che gli avrebbe conferito un vantaggio evolutivo, consentendogli di divenire il predatore più abbondante dell'ecosistema settentrionale.

Ma se *Troodon* era bene adattato alla semioscurità degli inverni artici, è lecito chiedersi come se la cavasse durante i lunghi periodi di luce diurna dei mesi più caldi. A dargli rifugio potrebbe essere stata la foresta, dove i livelli di luce sono assai più bassi rispetto al campo aperto, e dove i grandi occhi di *Troodon* avrebbero continuato a farne un formidabile predatore.

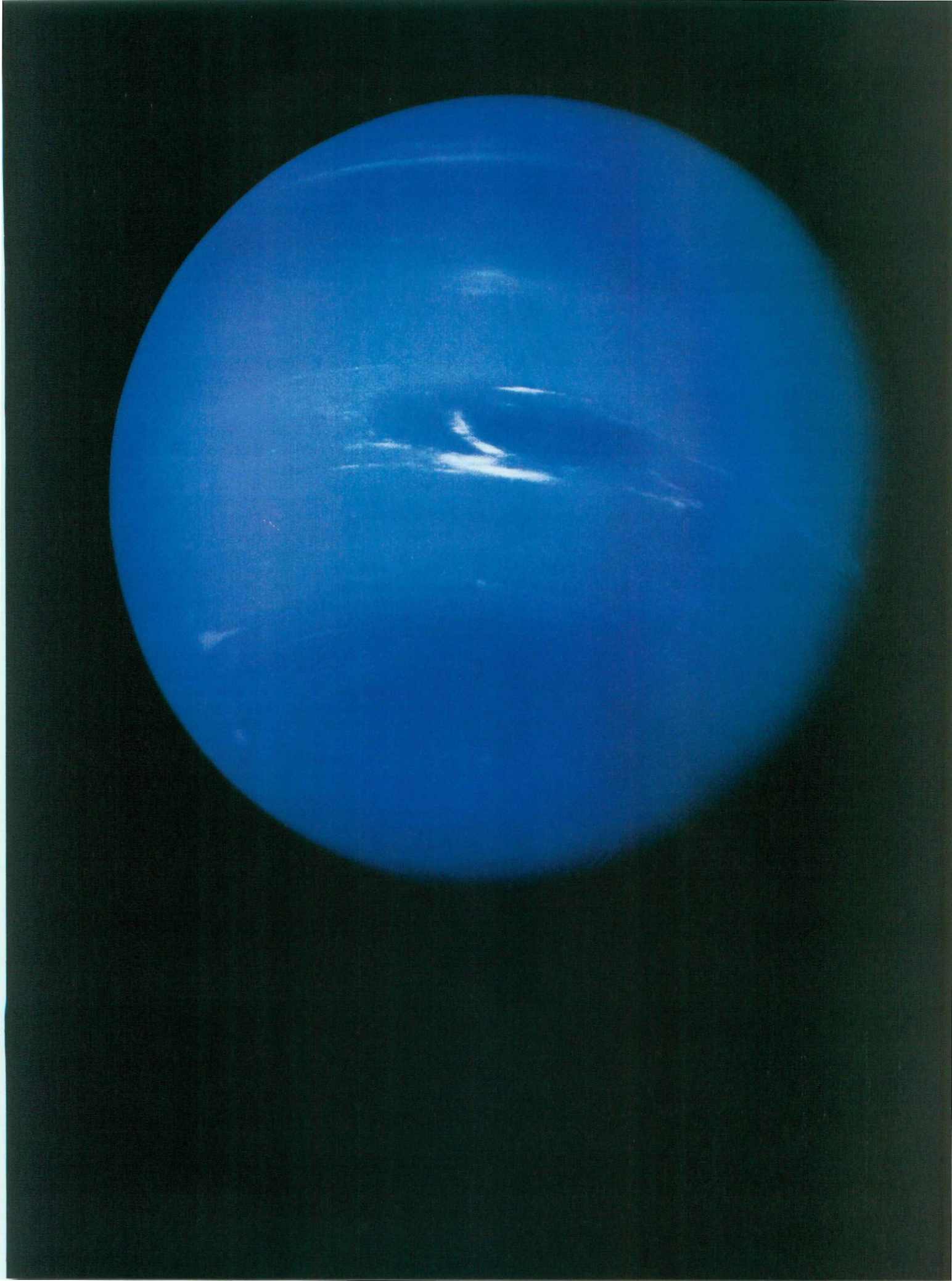
Non possiamo confermare le dimensioni degli occhi degli altri dinosauri che vivevano in Alaska, poiché le parti del cranio ritrovate sono solo frammentarie, oppure le ossa sono ancora in fase di preparazione per lo studio. Per quanto i dinosauri descritti in Australia meridionale da Tom e Pat Rich siano molto più vecchi e molto diversi, i Rich hanno notato una tendenza all'aumento del diametro orbitale in alcuni di essi.

È interessante notare che i *Troodon* dell'Artico erano grandi quasi il doppio di quelli ritrovati in siti più meridionali. Questa differenza contrasta fortemente con l'andamento individuato nella misurazione delle ossa dei dinosauri erbivori della North Slope, che ricadono pienamente nel campo di variabilità dimensionale di quelle trovate a latitudini più basse. Potrebbe darsi che i grandi occhi di *Troodon* abbiano conferito a questo animale un forte vantaggio competitivo, consentendogli alla fine di diventare il predatore di vertice, e quindi di aumentare le proprie dimensioni. Alcuni osservatori hanno riferito un fenomeno simile in ecosistemi moderni: dove i lupi sono scomparsi, a volte i coyote hanno sviluppato taglie corporee maggiori.

Sopravvissuti solitari?

Molte domande su queste straordinarie creature sono ancora senza risposta. Una delle più affascinanti riguarda la possibilità che siano sopravvissuti alla catastrofe che al termine del Cretaceo sterminò i dinosauri nel resto del mondo.

La maggior parte dei paleontologi ritiene che a provocare l'estinzione dei dinosauri sia stata una collisione tra la Terra e un grande meteorite. E come si sa la sede più probabile dell'impatto è il cratere di Chicxulub, in Messico. Per studiare gli effetti a lunga distanza di un tale impatto, l'ideale è osservare un luogo molto lontano: per esempio l'Alaska. Purtroppo, in Alaska non abbiamo trovato alcun fossile di dinosauro che risalga all'epoca giusta per dare informazioni utili a capire se i dinosauri si sono estinti all'improvviso oppure gradualmente. I dati ricavati dal polline fossile, però, mostrano che alcuni strati rocciosi lungo la North Slope, e altrove in Alaska, sarebbero dell'età giusta per far luce sull'estinzione, se si scoprisse che contengono fossili di animali, oltre al polline. Questa ipotesi dà ulteriore slancio alla nostra ricerca. In fondo, abbiamo appena scalfito la superficie. LS



Quando gli inglesi rubarono Nettuno

Recenti indagini storiche gettano nuova luce su uno dei capitoli più appassionanti della storia dell'astronomia moderna

di William Sheehan, Nicholas Kollerstrom e Craig B. Waff

«Quella stella non è sulla carta!».

Queste parole, pronunciate dallo studente Heinrich Louis d'Arrest, risuonarono per la prima volta sotto la cupola dell'Osservatorio di Berlino la notte del 23 settembre 1846. E da allora riecheggiano nella storia dell'astronomia. Con una mappa del cielo distesa davanti a sé, d'Arrest stava aiutando Johann Gottfried Galle, astronomo dell'osservatorio, a verificare la straordinaria previsione di un matematico francese, Urbain Jean Joseph Le Verrier, il quale aveva ipotizzato che Urano, allora il più lontano dal Sole fra i pianeti conosciuti, mostrasse perturbazioni dell'orbita dovute all'attrazione gravitazionale di un pianeta ancora ignoto. Solo cinque giorni prima, Le Verrier aveva scritto a Galle: «Come vedrete, signore, ho dimostrato... [che] è possibile spiegare le osservazioni di Urano solo introducendo l'azione di un nuovo Pianeta, finora sconosciuto; e, cosa davvero notevole, vi è sull'eclittica un'unica posizione che possa essere assegnata a questo pianeta perturbatore».

In mezz'ora scarsa di osservazioni, Galle individuò un piccolo disco blu a meno di un grado da quella particolare posizione. Quando osservò di nuovo il corpo celeste la notte successiva, esso si era spostato leggermente: segno inequivocabile che non si trattava di una stella. Egli scrisse immediatamente a Le Verrier: «Il pianeta di cui avete indicato l'esistenza c'è davvero!».

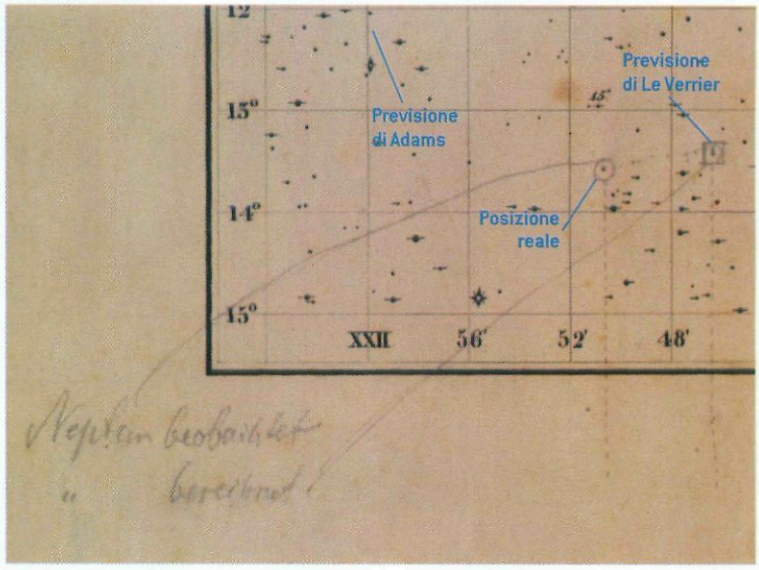
La storia di deduzioni matematiche e osservazioni telescopiche che portò alla scoperta del nuovo pianeta, battezzato Nettuno da Le Verrier, è una delle più note e ripetute in tutta la storia dell'astronomia. Familiare è anche la controversia che ebbe inizio quando, poco dopo l'annuncio della scoperta da parte di Galle, emerse che un giovane e oscuro matematico inglese, John Couch Adams, aveva affrontato indipendentemente lo stesso problema e ricavato una posizione quasi identica prima di Le Verrier.

L'affermazione di Adams fu accolta con scetticismo dagli astronomi francesi, ma ricevette sostegno da un'autorevole relazione documentaria presentata da George Biddell Airy, Astronomo reale, a una riunione della Royal Astronomical Society il 13 novembre 1846. Airy confermò di aver effettivamente ricevuto la posizione prevista da Adams nell'autunno del 1845 e di aver sollecitato una ricerca del pianeta, che non venne resa di pubblico dominio, l'estate seguente. La sua relazione portò al generale riconoscimento del fatto che Adams e Le Verrier avessero egual merito nella scoperta.

In genere i successivi resoconti della celebre vicenda sono stati poco più che ripetizioni dell'intervento di Airy. I protagonisti – Le Verrier, Adams, Airy e James Challis, l'astronomo dell'Università di Cambridge che condusse senza esito la ricerca del nuovo pianeta – divennero stereotipi. Così Adams era l'eroe schivo e riservato che una pubblicazione della Royal Astronomical Society definì «il più grande astronomo matematico inglese... con l'eccezione del solo Newton». Si diceva che lui e Le Verrier avessero saputo trascendere le controversie internazionali e fossero diventati amici per il resto della vita. Challis, d'altro canto, venne considerato un mediocre che aveva fallito nella ricerca per la propria incapacità. E Airy era il prototipo del burocrate, descritto in questi termini nel 1976 niente meno che da Isaac Asimov: «Un uomo presuntuoso, invidioso, meschino, che dirigeva il Greenwich Observatory come un tiranno ed era tanto ossessionato dai dettagli che invariabilmente non vedeva il quadro generale... Era proprio questa persona sgradevole che Adams tentò di contattare».

IN SINTESI

- La prima metà del XIX secolo ebbe la sua versione dell'attuale problema della materia oscura: il pianeta Urano seguiva una traiettoria diversa da quella teorica. Il mistero fu risolto nel 1846, quando alcuni osservatori, seguendo le indicazioni dei teorici, scoprirono Nettuno, la cui gravità poteva spiegare le anomalie dell'orbita di Urano.
- Gli storici hanno tradizionalmente diviso il merito della scoperta fra un teorico francese, Urbain Jean Joseph Le Verrier, e uno inglese, John Couch Adams. Il ruolo di Le Verrier è indubbio, e tale sembrava anche quello di Adams, fino alla metà del XX secolo.
- Proprio quando gli storici stavano iniziando a riesaminare il contributo di Adams, una serie di documenti fondamentali scomparve da un archivio inglese. Le carte furono ritrovate in Cile nel 1998. Altri documenti di estrema importanza sono stati rinvenuti dagli autori la scorsa estate.
- Dalle nuove prove documentali si conclude che Adams eseguì alcuni calcoli interessanti, ma non gli spetta alcun merito per la scoperta.



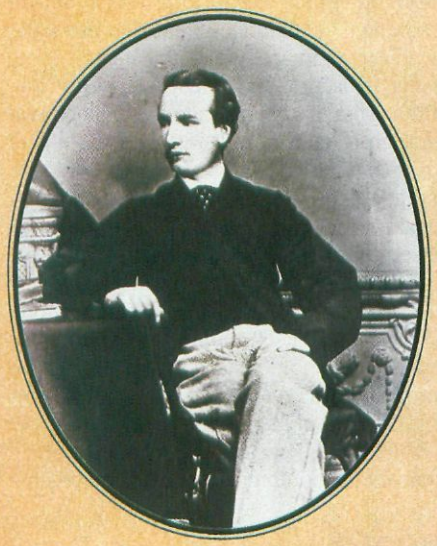
UN TRIONFO DELLA MECCANICA CELESTE: questa mappa del cielo aiutò gli astronomi tedeschi Johann Galle e Heinrich Louis d'Arrest a scoprire Nettuno la notte del 23 settembre 1846. Le scritte a matita (ritenute autografe di Galle) indicano il punto in cui egli trovò Nettuno e la posizione prevista dall'astronomo francese Urbain Jean Joseph Le Verrier. Galle non poteva saperlo, ma anche il matematico inglese John Couch Adams aveva previsto che il pianeta dovesse trovarsi nella stessa regione del cielo.

Oggetti smarriti

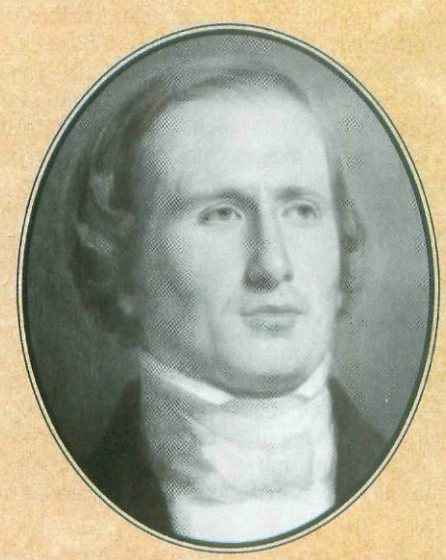
Nel corso degli anni, alcuni storici hanno messo in dubbio questa versione ormai divenuta canonica. Uno dei primi, mezzo secolo fa, fu l'astronomo inglese William M. Smart, che aveva ereditato una collezione di lavori scientifici di Adams. Alla fine degli anni ottanta, Allan Chapman, dell'Università di Oxford, e Robert W. Smith, allora alla Johns Hopkins University, identificarono ulteriori documenti interessanti. E sin dalla fine degli anni sessanta Dennis Rawlins, uno studioso di Baltimora, è andato ancora oltre, proponendo che gli astronomi inglesi dell'Ottocento abbiano consapevolmente falsificato – o almeno manipolato – il dossier.

Questi dubbi avrebbero potuto essere fugati se gli storici fossero stati in grado di consultare i documenti originali citati da Airy. Ma, a partire dalla metà degli anni sessanta, ogni volta che qualcuno richiedeva la documentazione i bibliotecari del Royal Greenwich Observatory (RGO) rispondevano che «non era disponibile». Dove si trovasse finì per diventare un mistero non meno affascinante della saga di Nettuno. Come era possibile che i documenti relativi a uno degli eventi più luminosi e importanti della storia dell'astronomia fossero spariti? Sia Rawlins sia il personale della biblioteca avevano forti sospetti che la documentazione fosse in mano di Olin J. Eggen, che all'inizio degli anni sessanta era stato primo assistente dell'Astronomo reale. Eggen l'aveva presa in prestito per scrivere articoli su Airy e Challis, ed era stato l'ultimo, a quanto si sapeva, ad averla consultata. Ma l'astronomo, che in seguito si era trasferito in Australia e poi in Cile, negava di possedere il fascicolo, e i bibliotecari, nel timore che potesse distruggere i documenti per non farsi incolpare (se davvero era lui ad averli), erano riluttanti a spingersi troppo a fondo.

Il mistero durò fino al 1998, più di trent'anni dopo che la do-



John Couch Adams



Urbain Jean Joseph Le Verrier

George Biddell Airy

cumentazione era stata vista per l'ultima volta. Eggen morì il 2 ottobre di quell'anno, e i colleghi che stendevano l'inventario del suo appartamento presso l'Istituto cileno di astronomia si imbatterono nei documenti scomparsi (oltre che in un buon numero di libri preziosi appartenenti alla biblioteca dell'RGO). Imballarono tutto il materiale, che pesava più di un quintale, e lo spedirono alla biblioteca dell'Università di Cambridge, dove attualmente sono depositati gli archivi del Royal Observatory. Questo fortunato recupero, insieme con il ritrovamento di significativi documenti in altri archivi, ci ha permesso di riconsiderare la scoperta di Nettuno da una prospettiva inedita.

Fuori strada

Cinque pianeti – Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno – sono facilmente visibili a occhio nudo, e quindi sono noti da tempo immemorabile. Il primo a essere scoperto con metodi strumentali fu Urano. La notte del 13 marzo 1781 William Herschel, musicista di origine tedesca che si dilettava di astronomia, stava eseguendo quella che chiamava una «rassegna celeste», ossia una ricognizione sistematica degli oggetti visibili nel cielo notturno con il telescopio riflettore di sei pollici di apertura che aveva costruito da solo. E si accorse immediatamente che il minuscolo disco giallo-verdastro che spiccava nella costellazione dei Gemelli era un intruso, forse una cometa. Osservazioni e calcoli successivi eseguiti da altri astronomi dimostrarono però che l'oggetto di Herschel non poteva essere una cometa: la sua orbita sarebbe stata molto più ellittica. Si trattava invece di un pianeta, un corpo che seguiva un'orbita stabile, pressoché circolare, intorno al Sole, a una distanza quasi doppia rispetto a quella di Saturno.

L'idea che il sistema solare ospitasse un pianeta di cui mai prima si era sospettata l'esistenza affascinò gli astronomi. Essi passarono al setaccio i cataloghi stellari di precedenti osservatori e scoprirono che in realtà il pianeta, battezzato Urano dal tedesco Johann Elert Bode, era stato avvistato 20 volte prima del 1781 – addirittura già nel 1690 – ma sempre scambiato per una stella. Nel 1821 il francese Alexis Bouvard raccolse tutte le osservazioni eseguite fino a quel momento e si trovò di fronte a un arduo problema. Anche dopo aver tenuto conto degli effetti gravitazionali dei due pianeti giganti, Giove e Saturno, non riusciva a riconciliare i dati con le leggi di Newton sul moto e la gravitazione. Era possibile che le leggi fossero erronee? Lo spazio era forse pervaso da un mezzo che esercitava resistenza e rallentava il moto del pianeta? Oppure Urano era soggetto all'influenza di un altro pianeta, ancora sconosciuto? Sembra quasi una versione ottocentesca del problema della materia oscura che oggi dà tanti grattacapi agli astronomi.

Il grande astronomo tedesco Friedrich Wilhelm Bessel era intenzionato ad affrontare il problema, ma la morte lo colse prima che ottenesse qualche risultato. La prima analisi completa pubblicata fu quella di Le Verrier, che apparve nel fascicolo del 1° giugno 1846 del periodico dell'Accademia francese delle scienze. Nell'articolo, si avanzava la previsione che un pianeta transuranico dovesse trovarsi a una longitudine media – la posizione vista da un ipotetico punto di osservazione situato all'esterno e al di sopra del sistema solare – di 325 gradi il 1° gennaio 1847 (*si veda l'illustrazione a p. 83*). Quel numero della rivista giunse in Inghilterra verso la fine del mese e, non appena lo lesse, Airy ricordò di aver visto un risultato simile l'autunno precedente, scribacchiato senza troppe cerimonie su un foglietto che un membro del St. John's College di Cambridge aveva lasciato a casa sua.

Etereo

Il nome dell'uomo era John Couch Adams, e la sua vita, per qualche aspetto, è parallela a quella di Newton. Entrambi trascorsero l'infanzia nella campagna inglese: Newton apparteneva a una famiglia di piccoli proprietari terrieri del Lancashire, mentre Adams era figlio di un mezzadro della Cornovaglia. Entrambi si interessarono, fin dalla più tenera età, alle regolarità dei fenomeni matematici e naturali; entrambi piantavano chiodi o incidevano tacche su muri e davanzali per indicare i moti stagionali del Sole. Avevano caratteristiche molto simili: sobrietà, pignoleria, scrupolo religioso. I contemporanei li ritenevano sognatori, eccentrici e distratti. Probabilmente oggi sia Newton sia Adams sarebbero considerati affetti da sindrome di Asperger, una forma leggera di autismo associato a elevata intelligenza.

Nato il 5 giugno 1819, Adams a soli 10 anni aveva manifestato un talento così straordinario per la matematica che un conoscente della famiglia lo definì un «prodigio» e consigliò al pa-

dre: «Se fosse mio figlio, mi toglierei il pane di bocca pur di farlo studiare». Adams lesse tutti i libri di astronomia e matematica che riuscì a trovare, e da adolescente calcolò l'ora locale dell'inizio e della fine di un'eclisse solare visibile in Cornovaglia: compito tutt'altro che banale in un'epoca in cui non esistevano calcolatrici e computer. Si narra che osservasse il cielo appoggiandosi a un'antica croce celtica presso la casa di famiglia, ma la miopia gli impedì di dedicarsi professionalmente all'osservazione astronomica. Una circostanza fortunata – la scoperta di un deposito di manganese nelle terre di famiglia – gli permise di sfuggire alla povertà e iscriversi a Cambridge.

Adams vi giunse nel 1839, e le sue capacità prodigiose furono subito notate. «Ero disperato – ricordò il compagno di studi A. S. Campbell – perché mi ero iscritto a Cambridge con grandi speranze, e il primo studente che incontrai era infinitamente più avanti di me». Adams fece incetta di tutti i premi matematici messi in palio dall'università, ma sotto ogni altro aspetto era un personaggio insignificante, quasi un essere distante e incorporeo. Un altro studente lo descrisse come «un omino che camminava svelto, e portava una giacca stinta verde scuro». La sua padrona di casa raccontò che talvolta lo trovava «sdraiato sul divano, senza libri o carte accanto» e che quando voleva parlargli «l'unico modo per attrarre la sua attenzione era avvicinarsi e battergli sulla spalla; chiamarlo non serviva a nulla».

Nel luglio 1841, a metà del corso di studi, Adams trovò presso un rivenditore di libri di Cambridge il *Report on the Progress of Astronomy* di Airy, un lavoro del 1832 che descriveva la crescente deviazione di Urano dalla traiettoria prevista. Dopo averlo letto, Adams scrisse nel suo diario: «Mi sono deciso... a indagare non appena possibile, dopo aver ottenuto il diploma, le irregolarità non ancora spiegate del moto di Urano, per stabilire se siano da attribuire all'azione di un pianeta sconosciuto al di là di esso».

L'hobby di Adams

Nei cinque anni successivi, sembra che Adams abbia considerato il problema del moto di Urano come un passatempo. Non appariva urgente; dopo tutto, erano anni che aspettava di essere risolto. Conseguito il diploma nel 1843, ottenne dati osservativi su Urano da Challis, il cui osservatorio distava meno di due chilometri dal St. John's. Oberato di impegni, Adams si dedicò ai calcoli durante le vacanze in Cornovaglia: era un compito improbo, ma egli amava quel genere di lavoro.

In prima approssimazione, Adams ipotizzò che il pianeta si trovasse alla distanza media (38 unità astronomiche, il doppio della distanza di Urano) prevista dalla legge di Bode, una relazione empirica che, per ragioni ignote, forniva le distanze orbitali di tutti i pianeti conosciuti. Provando ad assegnare valori diversi ai parametri orbitali dell'ipotetico pianeta, tentò di ridurre i residui orbitali, ossia le discrepanze tra le posizioni previste e osservate di Urano, con una serie di approssimazioni successive: è il metodo che prende il nome di teoria delle perturbazioni e che in seguito divenne uno strumento standard della fisica matematica.

Nel 1845, a metà settembre, Adams comunicò a Challis i risultati di un'estate di calcoli. Ma in che modo? Molti storici hanno concluso che il documento chiave sia un foglio, scritto su una sola facciata, nel carteggio di Adams: si riferisce al «Nuovo Pianeta» e reca l'annotazione, scritta da Challis di suo pugno, «ricevuto nel settembre 1845». Ma questa conclusione lascia qualche dubbio. Fra l'altro, il termine «Nuovo Pianeta» entrò in uso solamente più tardi. Non è affatto detto che Adams abbia comunicato i suoi risultati a Challis per iscritto, ma la lettera potrebbe anche essere andata perduta. Data la natura sbrigativa della comunicazione, non sorprende che Challis non si sia precipitato a perlustrare il cielo notturno. Era scettico sul fatto che la teoria delle perturbazioni fosse in grado di prevedere le posizioni dei pianeti con sufficiente accuratezza, e in seguito spiegò che «mentre la fatica era certa, il successo non lo appariva altrettanto». Tuttavia, riferì ad Airy che Adams aveva effettuato alcuni calcoli.

Adams decise di far visita ad Airy mentre tornava a Cambridge dopo le vacanze in Cornovaglia. Il 21 ottobre 1845 si presentò due volte alla residenza dell'astronomo a Greenwich Hill, anche se, senza un appuntamento, difficilmente poteva sperare in un colloquio con uno dei funzionari più affaccendati della nazione. I due non si incrociarono mai. Sebbene alcune versioni successive abbiano dato la colpa al maggiordomo, che non avrebbe presentato il biglietto da visita di Adams, una lettera della moglie di Airy, scoperta di recente, chiarisce che il poveretto non ebbe alcuna responsabilità: il biglietto da visita fu debitamente presentato, ma in quel momento l'astronomo era fuori casa.

Non è affatto detto che Adams abbia comunicato i suoi risultati a Challis per iscritto, oppure **la lettera potrebbe anche essere andata persa**

Adams lasciò un biglietto per Airy. È il documento cruciale, quello su cui si fondano le pretese inglesi sulla scoperta (*si veda il box nella pagina a fronte*). La breve nota forniva gli elementi orbitali dell'ipotetico pianeta. La sua orbita si allontanava di molto da un cerchio perfetto, e la longitudine media, il 1° ottobre 1845, era di 323 gradi e 34 minuti. Se qualcuno avesse effettivamente osservato quella posizione nella data indicata, avrebbe trovato Nettuno a circa due gradi di distanza, una precisione non dissimile da quella della successiva previsione di Le Verrier.

La nota forniva anche colonne di residui orbitali di circa un secondo d'arco, elencati da Adams per dimostrare che la sua teoria spiegava il moto in apparenza anomalo di Urano. Per il resto, però, lo scritto non conteneva alcuna informazione che inquadrasse la teoria e i calcoli. Inoltre, prima di poter usare l'informazione per dirigere un telescopio, sarebbe stato necessario trasformare gli elementi orbitali medi in posizioni celesti reali. Una versione della nota pubblicata in seguito da Airy fu emendata – tralasciando una frase cruciale – in un evidente tentativo di nascondere questa pecca.

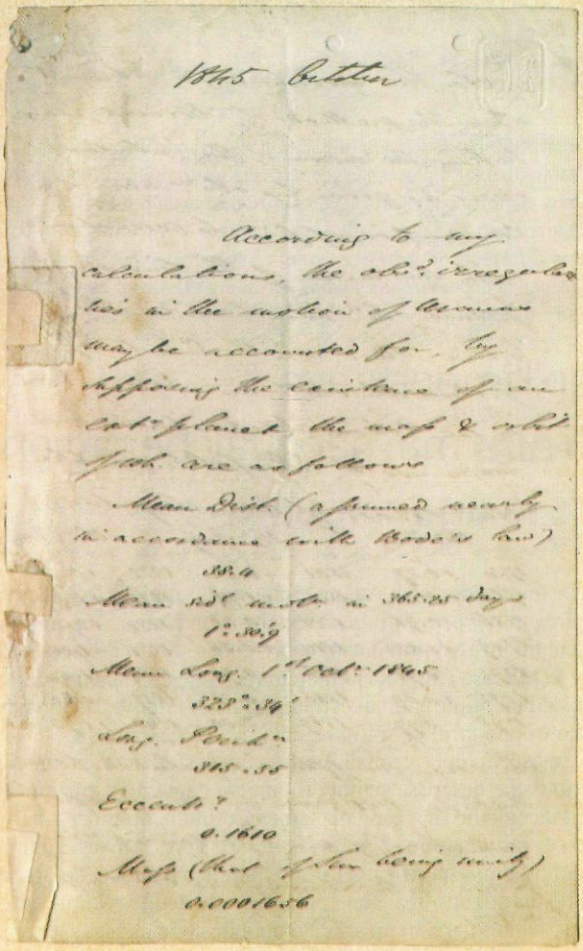
Un inspiegabile silenzio

Sebbene molti critici abbiano in seguito biasimato Airy per non aver intuito il significato dello storico biglietto, questi in realtà rispose per lettera ad Adams: «Vi sono molto grato per i risultati che mi avete lasciato alcuni giorni fa, con le perturbazioni [valori di errore in longitudine] della posizione di Urano prodotte da un pianeta con taluni elementi ipotizzati... Sarei molto felice di sapere se questa perturbazione ipotetica spiega [anche] il vettore radiale di Urano».

Airy alludeva al fatto, da lui stesso determinato in una lunga campagna di osservazioni effettuate dopo il 1830, che Urano, oltre a presentare anomalie di longitudine, era anche leggermente più lontano dal Sole rispetto al valore teorico. Se Adams

I DOCUMENTI DEL «CASO NETTUNO»

La documentazione sulla scoperta di Nettuno, a lungo dispersa, ricomparve nel 1998. Sottratta trent'anni prima alla biblioteca del Royal Greenwich Observatory dall'astronomo Olin Eggen, per ragioni non chiarite, fu rinvenuta fra le sue carte dopo la sua morte. I documenti forniscono nuove informazioni su come gli astronomi vittoriani costruirono la storia ufficiale della scoperta di Nettuno.



1845 October

According to my calculations, the obs.d irregularities in the motion of Uranus may be accounted for, by supposing the existence of an ext.r planet, the mass & orbit of wh. are as follows

Mean Dist. (assumed nearly in accordance with Bode's law)
38.4

Mean sid.l mot.n in 365.25 days
1°.30'.9

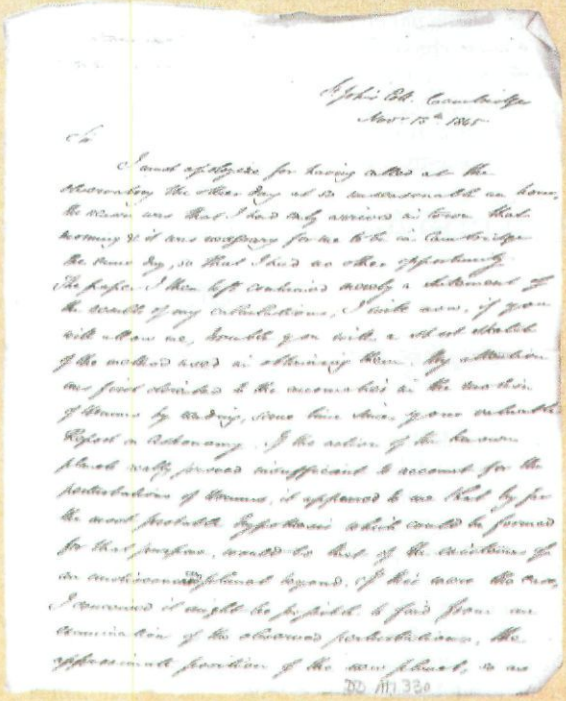
Mean Long. 1st Oct.r 1845
328°.34'

Long. Perih.n
315.55

Eccent.y
0.1610

Mass (that of Sun being unity)
0.0001656

Il fascicolo comprende questa nota, che a lungo è stata ritenuta la prova principale del fatto che John Couch Adams fu il primo a prevedere l'esistenza e la posizione di Nettuno. Adams lasciò il foglio nella cassetta delle lettere di George Biddell Airy, Astronomo reale, nell'ottobre 1845. Il contenuto non è sensazionale: fornisce i risultati di un calcolo, ma non riporta alcun dettaglio.



St John's Coll. Cambridge
Nov.r 13th 1845

Sir

I must apologize for having called at the observatory the other day at so unseasonable an hour, the reason was that I had only arrived in town that morning & it was necessary for me to be in Cambridge the same day, so that I had no other opportunity. The paper I then left contained merely a statement of the results of my calculations, I will now, if you will allow me, trouble you with a short sketch of the method used in obtaining them. My attention was first directed to the anomalies in the motion of Uranus by reading, some time since, your valuable Report on Astronomy. If the action of the known planets really proved insufficient to account for the perturbations of Uranus, it appeared to me that by far the most probable hypothesis which could be formed for that purpose, would be that of the existence of an undiscovered planet beyond. If this were the case, I conceived it might be possible to find from an examination of the observed perturbations, the approximate position of the new planet, so as

Da un archivio in Cornovaglia proviene questa lettera di recente scoperta, destinata ad Airy, che Adams iniziò a scrivere ma non concluse mai. Essa getta luce su un piccolo mistero: perché Adams non abbia mai risposto alla richiesta di maggiori informazioni rivoltagli da Airy. Se lo avesse fatto, forse gli inglesi avrebbero potuto scoprire Nettuno ben prima che vi riuscisse Galle su ispirazione di Le Verrier. La lettera chiarisce come Adams ritenesse importante il quesito di Airy, contrariamente a quanto affermò in seguito. Ma evidentemente altre priorità gli impedirono di andare a fondo della questione.

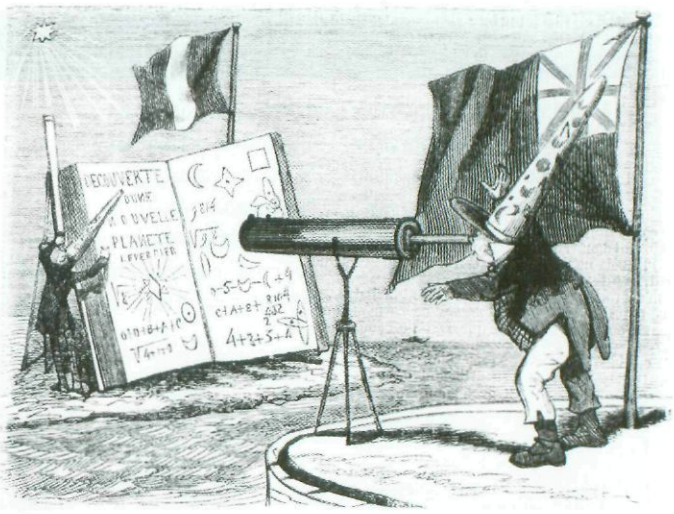
avesse risposto al quesito, Airy avrebbe forse dato inizio a una ricerca, e gli inglesi avrebbero ottenuto tutto il merito della scoperta di Nettuno. Ma Adams non rispose. Perché?

Il matematico non diede mai una risposta diretta a questa domanda fondamentale. Nella vecchiaia affermò di aver considerato il quesito di Airy «banale» e indegno di replica. Ma in un lavoro scritto dopo la scoperta, che riassumeva i suoi calcoli, ammise che l'errore nel raggio era «talvolta considerevole». Nel dicembre 1846 Adam Sedgwick, geologo di Cambridge, chiese ad Adams se il suo atteggiamento di chiusura fosse dovuto a irritazione per non essere riuscito a incontrare Airy, e il matematico lo negò. Diede invece la colpa un po' alla sua abitudine a rimandare le cose e un po' al fatto che non gli piaceva scrivere.

Oggi sappiamo – da un documento che abbiamo scoperto lo scorso anno in una collezione separata di carte della famiglia Adams in Cornovaglia – che egli iniziò effettivamente a stendere una lettera in risposta ad Airy, ma non la spedì mai. Datata 13 novembre 1845, la lettera annunciava l'intenzione di Adams

di descrivere i suoi metodi e forniva un breve resoconto storico dei suoi primi lavori, ma si interrompeva dopo due pagine. Altre due carte di suo pugno dello stesso periodo contengono la formula che descrive il vettore radiale incriminato, ma non mostrano alcun tentativo di calcolarlo. Perciò sembra che Adams abbia compreso l'importanza del quesito di Airy ma, per qualche ragione, non sarebbe riuscito a completare la sua risposta.

Dopo la scoperta di Nettuno, Adams scrisse ad Airy che aveva considerato la possibilità di cercare egli stesso l'ipotetico pianeta con i piccoli strumenti dell'osservatorio del college. Ma tacitamente ammetteva che, proprio per il fatto di non aver spiegato la sua metodologia a Challis o ad Airy, non era riuscito a convincerli a dare inizio a una ricerca immediata del pianeta: «Non potevo tuttavia attendermi che astronomi di professione, già totalmente occupati da compiti importanti, avessero, nei risultati delle mie indagini, la stessa fiducia che potevo avere io».



I PRIMI DUBBI, DA PARTE FRANCESE, sulla legittimità della pretesa accampata dagli inglesi sulla scoperta di Nettuno sono raffigurati in questa vignetta pubblicata sul numero del 7 novembre 1846 di «L'Illustration». La didascalia è la seguente: «Mr. Adams scopre il nuovo pianeta dal resoconto di M. Le Verrier». I sospetti vennero meno davanti all'evidenza documentaria: Adams non aveva plagiato il lavoro di Le Verrier. Gli inglesi, tuttavia, ingigantirono il suo contributo.

La quiete prima della tempesta

Durante la prima metà del 1846, Adams si dedicò a quello che sembrava un problema più urgente: calcolare le orbite dei frammenti di una cometa che si era spaccata in due parti. Egli era anche molto impegnato con l'insegnamento, che spesso, come può confermare qualsiasi docente universitario dei giorni nostri, lascia poco tempo per la ricerca. Non è stato trovato alcun documento che faccia pensare a un suo interesse anche passeggero per le perturbazioni di Urano fino agli ultimi giorni del giugno 1846, quando il lavoro di Le Verrier giunse in Inghilterra.

Sembra che Adams abbia compreso l'importanza del **quesito di Airy** ma, per qualche ragione, **non sarebbe riuscito a completare la sua risposta**

Allora, e solo allora, Airy suggerì a Challis di organizzare una ricerca. Adams contribuì al tentativo, calcolando le posizioni celesti dell'ipotetico pianeta per la tarda estate e il primo autunno. Come notò per primo lo storico Rawlins, questi calcoli erano basati sull'orbita circolare di Le Verrier, e non sulla teoria dello stesso Adams. Challis iniziò la sua ricerca il 29 luglio e, come dimostra il suo registro delle osservazioni, fu diligente e sistematico. Non sapendo che all'Accademia di Berlino esisteva una mappa celeste che comprendeva la regione interessata (quella che Galle e d'Arrest avrebbero usato alla fine di settembre), Challis dovette letteralmente costruire la propria mappa nel corso del lavoro. Registrò due volte la posizione di ciascun corpo celeste; se si era mosso, poteva essere il pianeta che stava cercando. Questo compito richiese tempo prezioso e non fu agevolato dal fatto che Airy aveva chiesto di estendere la ricerca a un'ampia zona del cielo. Fino a tutto settembre, Challis passò in rassegna 3000 stelle, e due volte, il 4 e il 12 agosto, registrò un oggetto che poi sarebbe stato identificato con Nettuno. Ma, dato che non confrontò subito le posizioni, perse l'opportunità di compiere la scoperta.

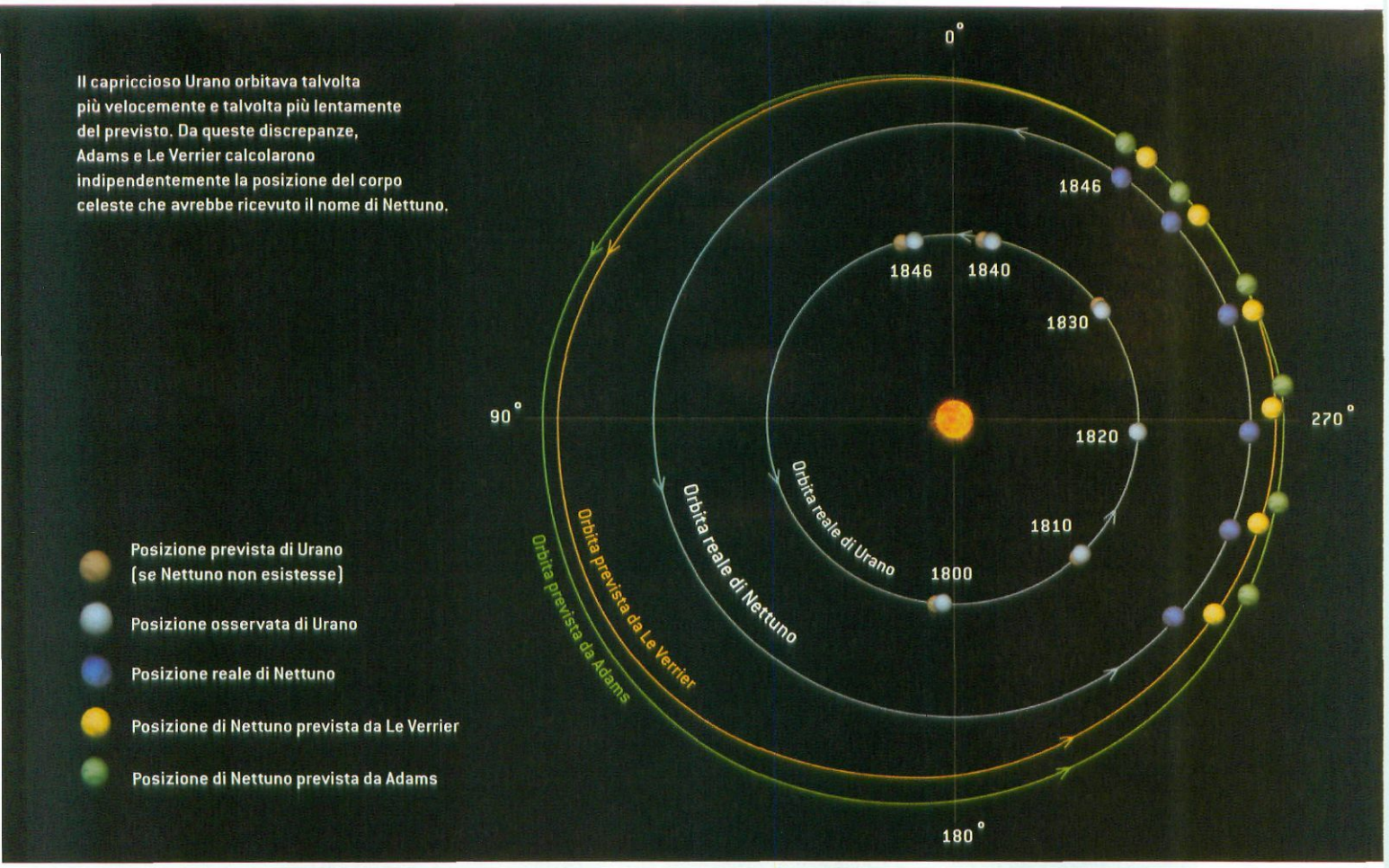
Adams, nel frattempo, rivedeva i propri calcoli, che riassunse in una lettera ad Airy del 2 settembre. Da lungo tempo si rendeva conto che il suo uso della legge di Bode era stato arbitrario, e che l'orbita fortemente ellittica che aveva postulato per l'ipotetico pianeta sembrava poco plausibile. Durante le vacanze estive aveva intrapreso nuovi calcoli, scoprendo che un'orbita più piccola e più circolare corrispondeva alle osservazioni. Ma poi continuò a introdurre modifiche, considerando la possibilità di un'orbita ancora più piccola, che supponeva potesse condurre a una longitudine assai diversa dalla sua previsione iniziale.

Le nuove ipotesi di Adams, come oggi sappiamo, collocavano il pianeta nei pressi di una risonanza con Urano, una posizione in cui gli influssi gravitazionali avrebbero finito per accumularsi e vanificare l'approccio matematico che egli stava seguendo. Ma, a quel punto, non aveva importanza. I nuovi calcoli arrivarono troppo tardi per influire sulla ricerca del pianeta.

Un aspetto dei calcoli di Adams che gli storici raramente ricordano è che descrisse sempre il pianeta come un'astrazione. Era semplicemente una serie di elementi orbitali, un gioco di prestigio per far quadrare colonne di cifre. Le Verrier, invece, pubblicò una posizione specifica per il suo ipotetico pianeta e lo descrisse come un oggetto reale che percorreva le gelide regioni estreme del sistema solare. In un articolo pubblicato in agosto suggerì audacemente che il pianeta dovesse essere riconoscibile al telescopio dal suo disco. Quando finalmente giunse in Inghilterra, questo suggerimento indusse Challis a prestare più attenzione all'aspetto fisico dei corpi celesti che stava catalogando. Il 29 settembre notò che uno sembrava «avere un disco». Ma qualche giorno prima lo stesso oggetto era stato visto, e confermato come pianeta, all'Osservatorio di Berlino. Non era più un mondo ipotetico. «Dio del cielo, è davvero grande!», aveva esclamato Galle.

Il vero scopritore di Nettuno

Dalla nostra ricognizione dei documenti originali, abbiamo concluso che i contemporanei inglesi di Adams gli diedero più credito di quanto meritasse, sebbene egli abbia eseguito alcuni calcoli notevoli. Certamente ha il merito di essere stato un pioniere, insieme con Le Verrier, nell'applicazione della teoria delle perturbazioni ai moti planetari. Probabilmente aveva fiducia nella precisione e nella certezza dei suoi risultati, anche se è ben no-



to che, a posteriori, molti (storici compresi) tendono a sopravvalutare il proprio successo nel prevedere l'esito di un evento.

Comunque siano andate le cose, Adams fallì totalmente nel comunicare in modo convincente i propri risultati ai colleghi e al mondo. Una scoperta non consiste semplicemente nell'azzardare l'esplorazione di un problema interessante e nel presentare alcuni calcoli; richiede anche di comprendere che si è scoperto qualcosa e di comunicarlo in modo efficace al mondo scientifico. La scoperta ha quindi un lato pubblico, oltre a quello privato. Adams portò a termine solo una parte del suo compito. Ironia della sorte, proprio le qualità che consentirono a Le Verrier di arrivare per primo – la sua audacia e irriverenza, a confronto della timidezza e dell'ingenuità di Adams – giocarono a suo sfavore nelle manipolazioni successive alla scoperta. Le istituzioni scientifiche inglesi serrarono i ranghi intorno ad Adams, mentre Le Verrier godeva di poche simpatie fra i colleghi.

Questa storia dimostra anche quale ruolo può avere la fortuna in una scoperta. In un certo senso, né Adams né Le Verrier previdero realmente la posizione di Nettuno. Entrambi sopravvalutarono di molto la distanza del pianeta dal Sole e riuscirono a calcolare quasi esattamente la longitudine solo grazie a una peculiarità nei tempi dell'orbita. Circostanze simili si presentano spesso nella scienza (la stessa cosa si ripeté anche nella scoperta di Plutone, quasi un secolo dopo).

Ora che le passioni sollecitate dalle rivalità internazionali della metà dell'Ottocento si sono calmate e che i documenti originali sono di nuovo a disposizione degli studiosi, possiamo affermare che Adams non ha lo stesso merito di Le Verrier nella scoperta di Nettuno. Quell'onore spetta a colui che seppe sia prevedere la posizione del pianeta sia convincere gli astronomi a cercarlo. E fu solo Le Verrier a riuscirci. LS

GLI AUTORI

WILLIAM SHEEHAN, NICHOLAS KOLLERSTROM e CRAIG B. WAFF sono storici della scienza che hanno collaborato nel ricostruire la storia della scoperta di Nettuno. Sheehan è psichiatra, con particolare interesse per l'autismo e la sindrome di Asperger, e astrofilo, collaboratore di «Sky & Telescope». L'asteroide 16037 è stato recentemente battezzato Sheehan in suo onore. Kollerstrom si sta specializzando allo University College di Londra, ed è cofondatore della Society for History of Astronomy. Waff è uno storico e lavora al laboratorio di ricerca della Wright-Patterson Air Force Base di Dayton, nell'Ohio. Con Kollerstrom, sta preparando un volume che raccoglie la corrispondenza sulla previsione e la scoperta di Nettuno.

PER APPROFONDIRE

CHAPMAN A., *Private Research and Public Duty: George Biddell Airy and the Search for Neptune*, in «Journal for the History of Astronomy», Vol. 19, pp. 121-139, maggio 1988.

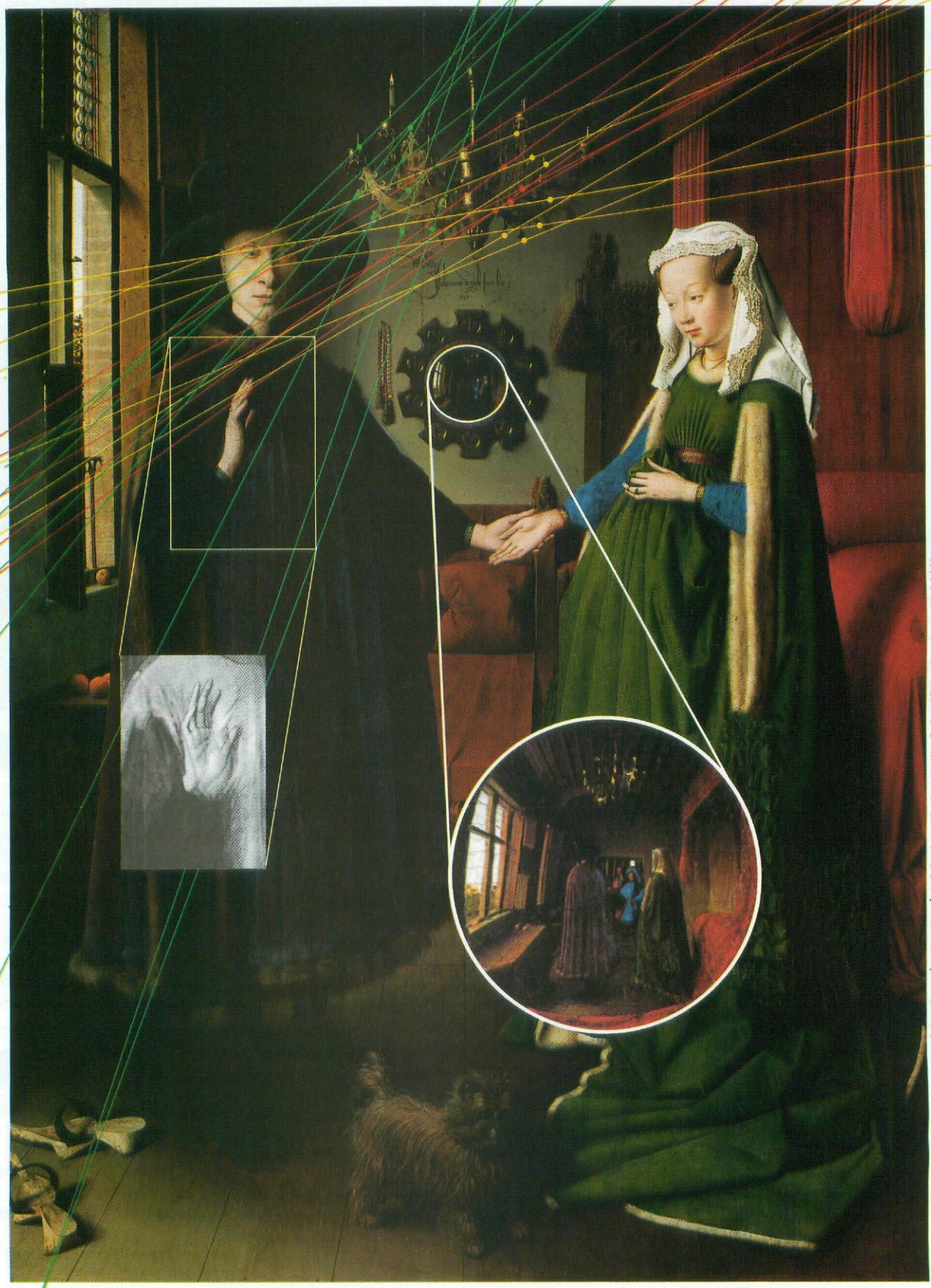
SMITH R. W., *The Cambridge Network in Action: The Discovery of Neptune*, in «Isis», Vol. 80, n. 303, pp. 395-422, settembre 1989.

MOORE P., *The Planet Neptune: An Historical Survey before Voyager*, Praxis, 1996.

BAUM R. e SHEEHAN W., *In Search of Planet Vulcan: The Ghost in Newton's Clockwork Universe*, Plenum, 1997.

RAWLINS DENNIS, *British Neptune-Disaster File Recovered*, in «DIO», Vol. 9, n. 1, pp. 3-25, giugno 1999.

Maggiori dettagli sul sito web di Nicholas Kollerstrom: www.ucl.ac.uk/sts/nk/neptune.



I Coniugi Arnolfini, di Jan van Eyck, 1434/© The National Gallery, Londra [*pagina a fronte*]; da *Reflections of Reality in Jan Van Eyck and Robert Campin*, di A. Criminisi, M. Kemp e S. B. Kang, in «Proc. Measuring Art: A Scientific Revolution in Art History», Parigi, maggio-giugno 2003, e in «Historical Methods», Vol. 36, n. 3, estate 2004

IL RITRATTO DI GIOVANNI ARNOLFINI E DI SUA MOGLIE, dipinto a olio su tavola di quercia da Jan van Eyck nel 1434, viene citato dall'artista contemporaneo David Hockney come la dimostrazione del sorprendente grado di realismo raggiunto dai pittori del primo Rinascimento ricalcando immagini proiettate da lenti o specchi e poi riempiendo i profili con la pittura. In questo articolo, l'autore solleva varie obiezioni tecniche relative a questa tesi esaminando vari dettagli (*evidenziati qui sopra*) del ritratto.

Ottica e realismo nell'arte rinascimentale

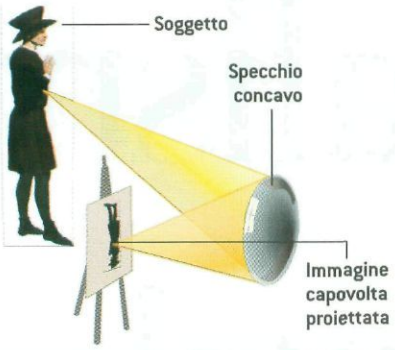
di David G. Stork

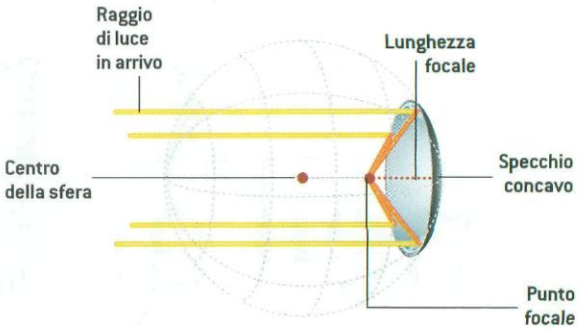
Una teoria molto pubblicizzata sostiene che i pittori del XV secolo raggiunsero un nuovo grado di realismo servendosi di lenti e specchi. Recenti scoperte mettono in dubbio questa tesi: proponendo un'alternativa suggestiva

Quando i critici d'arte prendono in esame il grandioso sviluppo della pittura occidentale, osservano che agli albori del Rinascimento si verifica qualcosa di molto interessante. Prima del 1425 o giù di lì, la maggior parte delle immagini è molto stilizzata, persino schematica; ma dopo quella data ci si trova di fronte a dipinti di un realismo quasi fotografico. Per esempio, il ritratto *I Coniugi Arnolfini*, del pittore fiammingo Jan van Eyck (1390?-1441), uno dei capolavori del primo Rinascimento, rivela una tridimensionalità, una presenza, un'individualità e una profondità psicologica che mancavano nei lavori precedenti. Per la prima volta, abbiamo dei ritratti realmente somiglianti. Che cosa è successo?

COME FUNZIONA LA PROIEZIONE CON GLI SPECCHI

Uno specchio concavo proietta un'immagine capovolta di un soggetto su uno schermo posto a una certa distanza dallo specchio (*in basso a sinistra*). Gli specchi concavi possono essere considerati sezioni di una sfera (*in basso a destra*). La distanza focale di uno specchio ritagliato da una sfera è pari alla metà del raggio della sfera. La distanza focale è la distanza tra specchio e punto focale, il punto in cui si incontrano i raggi luminosi riflessi dallo specchio. Un'equazione pone in relazione le distanze tra il soggetto, lo specchio e l'immagine proiettata permettendo così, in base al risultato, di stabilire dettagli quali la posizione dello specchio e la relativa distanza focale.





Per spiegare la nascita di questa nuova arte, l'illustre pittore contemporaneo David Hockney ha proposto una teoria ardita e controversa, secondo cui i dipinti del Rinascimento appaiono realistici e presentano ciò che egli definisce un «aspetto ottico», perché gli artisti usavano lenti e specchi per proiettare immagini sulla tela, immagini che poi ricalcavano e dipingevano.

È noto che nel XVIII e XIX secolo alcuni pittori hanno usato proiezioni ottiche di immagini, ma la teoria di Hockney anticipa di 250 anni la data di nascita di questa tecnica. Inoltre, l'uso di strumenti e tecniche ottiche è così importante per la teoria di Hockney da fargli affermare che, a partire da quell'epoca, la storia dell'arte è intimamente legata a quella dell'ottica.

In questo articolo, esporrò i risultati delle ricerche effettuate da me e da altri studiosi usando tecniche ottiche e di visione computerizzata su due dipinti di van Eyck che Hockney e il suo collaboratore Charles Falco, fisico all'Università dell'Arizona, propongono come prova della teoria.

Proiezione speculare

Secondo Hockney alcuni artisti si servivano già nel 1425 di una rudimentale camera oscura. La tradizionale *camera obscura* dotata di lenti è l'antesignana della macchina fotografica moderna, ma senza pellicola. Essa si basa su una lente convergente che proietta l'immagine reale di una scena, rovesciata, su uno schermo di visualizzazione. (L'immagine proiettata è detta «reale» perché la luce colpisce effettivamente lo schermo, allo stesso modo in cui un'immagine impressiona la pellicola in una macchina fotografica. L'immagine «virtuale» si ottiene invece quando la luce sembra solo provenire da un'immagine, per esempio quella del proprio volto riflesso nello specchio del bagno).

Per varie ragioni storiche e tecniche Hockney ipotizza l'utilizzo di una camera obscura che al posto di una lente usa uno specchio concavo che può anche proiettare un'immagine su di uno schermo. L'artista avrebbe illuminato il suo soggetto con la luce solare, puntando lo specchio verso il soggetto in modo da proiettare un'immagine reale rovesciata su una tela o un altro tipo di supporto. L'artista avrebbe poi tracciato i contorni dell'immagine e applicato la pittura o forse persino dipinto direttamente sull'immagine proiettata, sebbene, come Hockney dichiara, dipingere sulle proiezioni ottiche è molto difficile.

Per gli standard odierni, una camera obscura basata su uno specchio è semplice, ma all'epoca di van Eyck sarebbe stata il sistema ottico più sofisticato del pianeta e avrebbe richiesto una maggior precisione di forma e posizionamento dello specchio e condizioni di illuminazione più rigorose di qualunque altro sistema conosciuto. Non sono riuscito a trovare nessuno scritto coevo di scienziati, artisti o vetrai secondo cui qualcuno abbia anche soltanto visto l'immagine di un oggetto illuminato proiettato su uno schermo da uno specchio o una lente. Poiché le testimonianze relative a tutti gli altri tipi di sistemi ottici e di ausili meccanici per il disegno sono sopravvissute, l'assenza di documenti sul proiettore di Hockney è difficilmente spiegabile.

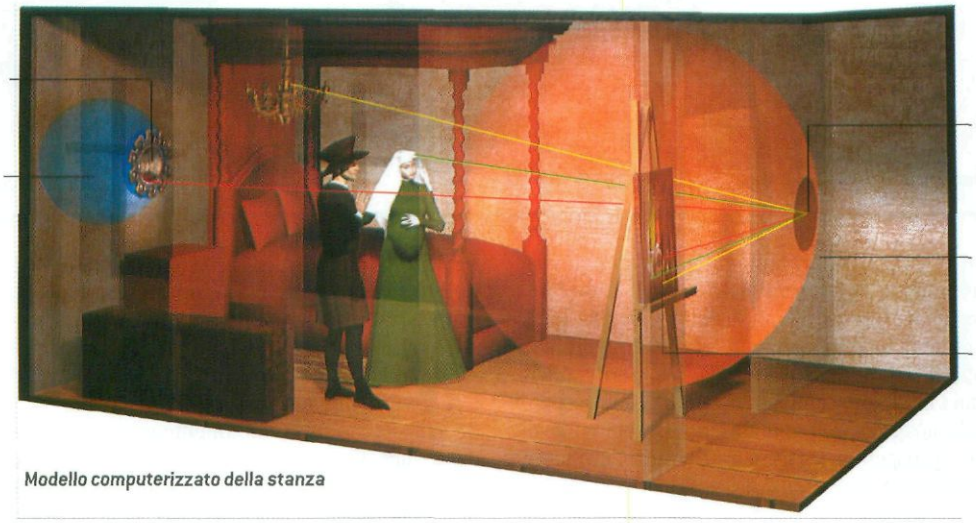
IN SINTESI

- Secondo una teoria avanzata dall'artista contemporaneo David Hockney, già intorno al 1425 alcuni pittori utilizzarono segretamente strumenti ottici – specchi e lenti – per creare le proprie opere.
- Due dei dipinti che Hockney propone come dimostrazione della sua teoria sono stati realizzati dal maestro fiammingo Jan van Eyck della prima metà del XV secolo.
- Ma l'analisi scientifica di entrambe le opere, effettuata utilizzando tecniche di computer vision, riflettografia all'infrarosso e microscopia, solleva vari dubbi sulla validità di questa teoria.

Ho esaminato tre proprietà tecniche chiave di questo ipotetico proiettore a specchio concavo, a partire dalla lunghezza focale. Uno specchio concavo riflette raggi di luce paralleli in modo che s'incontrino nel cosiddetto punto focale. La distanza tra specchio e punto focale ne costituisce la lunghezza focale. Una formula matematica – l'equazione dello specchio – definisce la distanza massima a cui possono trovarsi soggetto, specchio e supporto per continuare comunque a produrre un'immagine nitida sul supporto. Queste distanze, a loro volta, determinano la dimensione dell'immagine proiettata. Per esempio, un fotografo sceglierà una lente a distanza focale lunga, ovvero un teleobiet-

LO SPECCHIO DEGLI ARNOLFINI

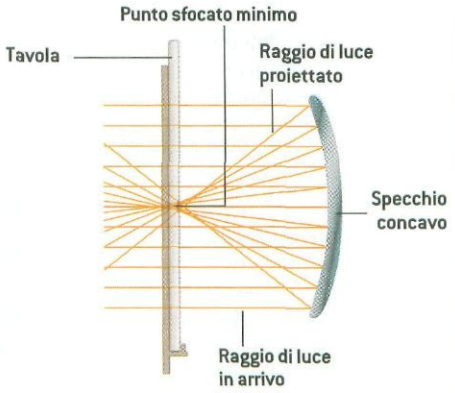
La teoria di Hockney sulla proiezione ottica suggerisce che lo specchio convesso nel ritratto degli Arnolfini eseguito da van Eyck avrebbe potuto essere riargentato, girato e usato come specchio concavo per la proiezione. Per verificare questa possibilità l'autore dell'articolo ha effettuato la seguente analisi. Anzitutto ha formulato un'ipotesi sulle dimensioni degli oggetti e la loro relativa posizione nella stanza. Ha poi utilizzato le leggi dell'ottica geometrica per stabilire la posizione dello specchio usato per la proiezione e del cavalletto che produrrebbero le dimensioni del vero dipinto di van Eyck (*si veda il modello computerizzato in basso*). Infine ha applicato l'equazione dello specchio per trovare la distanza focale dello specchio utilizzato per la proiezione. I suoi risultati danno una distanza focale di circa 61 centimetri. Se lo specchio fosse stato tagliato da una sfera, la sfera avrebbe dovuto avere diametro di 2 metri e 40 centimetri (*sfera rossa*). Le analisi delle immagini nello specchio dipinto sulla parete di fondo (*in basso a sinistra*) dimostrano che la sua distanza focale è di circa 18 centimetri, indicando che sarebbe stato possibile tagliarlo da una sfera di 70 centimetri di diametro (*sfera blu*). Non è possibile, quindi, che lo specchio convesso nel dipinto possa essere stato utilizzato, rovesciato, come specchio concavo per la proiezione. Altri calcoli ed esperimenti dimostrano che l'illuminazione indiretta nella stanza degli Arnolfini era troppo debole per proiettare un'immagine ricalcabile e che, inoltre, qualsiasi immagine potenzialmente proiettata sarebbe stata troppo confusa per restituire dettagli perfetti (*in basso a destra*).



Modello computerizzato della stanza

Per trovare la lunghezza focale dello specchio di van Eyck, David Stork si è servito di un metodo computerizzato messo a punto da Antonio Criminisi della Microsoft Research di Cambridge, in Inghilterra, da Martin Kemp dell'Università di Oxford e da Sing-Bing Kang della Microsoft Research di Redmond, a Washington. In questo modo, ha potuto correggere il raggio di *curvatura*, o *rigonfiamento*, dello specchio, per «togliere la curvatura» all'immagine dipinta: vale a dire far sì che le travi, i montanti della porta e così via apparissero diritti. Il raggio di curvatura così trovato mostra che la distanza focale dello specchio nel dipinto è di circa 18 centimetri.

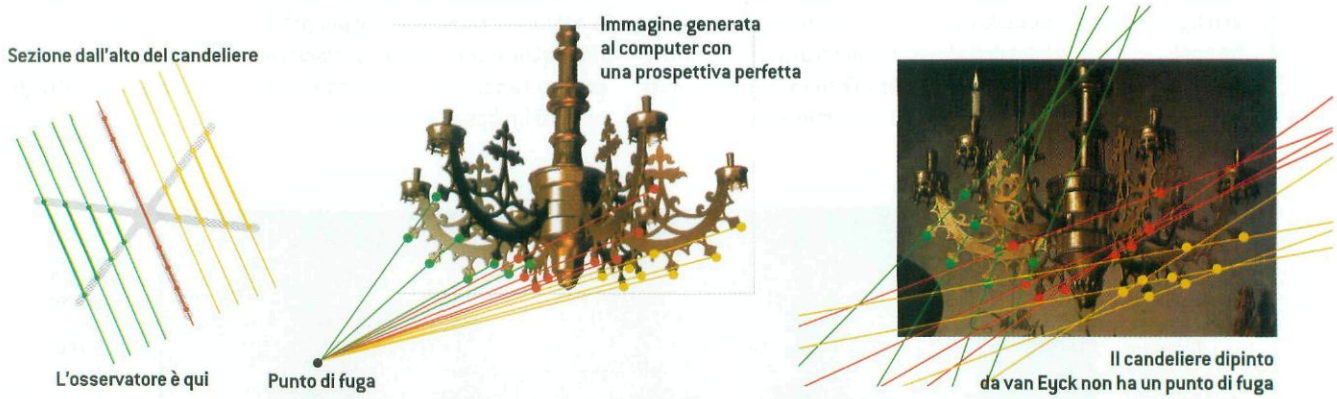
Immagine nello specchio con correzione della distorsione



Se lo specchio convesso nel dipinto di van Eyck fosse stato capovolto per la proiezione, il punto sfocato minimo – il punto di luce più piccolo sullo schermo derivante da un punto sul soggetto – avrebbe avuto un diametro di circa un centimetro, troppo grande per proiettare i dettagli perfetti riscontrati sul dipinto.

IL CANDELIERE

Secondo la teoria della proiezione ottica l'elaborato candeliere nel ritratto degli Arnolfini è dipinto in perfetta prospettiva, come sarebbe se ci si fosse basati su un'immagine proiettata. Per verificare quest'affermazione, l'autore di questo articolo ha svolto un'analisi prospettica sul candeliere. Nella veduta dall'alto, o sezione orizzontale, raffigurata a sinistra, si suppone che il candeliere a sei bracci presenti una simmetria esagonale. Le strutture corrispondenti (*punti colorati*) su ogni coppia di bracci definiscono linee parallele al suolo e perpendicolari al piano verticale che biseca quelle linee; tutte queste linee, dunque, come quelle mostrate, sono parallele le une alle altre nello spazio. Se nel dipinto il candeliere vero e proprio fosse simmetrico, o quasi, e fosse stato dipinto con una prospettiva perfetta, le linee parallele s'incontrerebbero in un punto di fuga (*al centro*). Queste linee, tuttavia, costruite in modo simile per il dipinto (*a destra*), deviano in maniera considerevole. Evidentemente, o il candeliere non è stato dipinto su un'immagine proiettata oppure non era simmetrico.



Da sinistra a destra: Eliza Jewett (*disegno, linee prospettiche*); James Schoenberg e David G. Stork (*rendering 3D del candeliere*); Jan van Eyck, 1434, National Gallery, Londra (*dettaglio del ritratto Arnolfini*); Antonio Criminisi (*simulazione digitale dei bracci*)

tivo, per zoomare in avanti su un lanciatore di baseball e ingrandirne così l'immagine; userà un obiettivo grandangolare a distanza focale corta, per mostrare i fan di tutto lo stadio. La seconda proprietà riguarda la luminosità di un'immagine proiettata, che dipende dalla lunghezza focale e dalla superficie dello specchio che forma l'immagine. La terza proprietà è la prospettiva geometrica: un'immagine proiettata da uno specchio obbedisce alle leggi della prospettiva esattamente come l'immagine proiettata che impressiona una fotografia.

Coniugi allo specchio

Il ritratto dei coniugi Arnolfini dipinto da van Eyck nel 1434 è una delle prove determinanti della teoria di Hockney. Si può dire molto sul significato di questo straordinario dipinto, ma io mi concentrerò su poche decine di centimetri quadrati al suo centro. Gli storici dell'arte sottolineano il simbolismo insito nel catturare il mondo visivo in uno specchio convesso posto in bella vista su una parete, ma a me interessano le proprietà ottiche di questo specchio, come la sua lunghezza focale e il potere di raccogliere la luce. Dal punto di vista storico, lo splendido candeliere rappresenta la ricchezza e il prestigio di un uomo d'affari italiano in visita nei Paesi Bassi, ma io mostrerò che questo oggetto metallico rivela molto della prospettiva geometrica e delle proiezioni. I critici d'arte evitano giustamente di prendere troppo alla lettera il ritratto degli Arnolfini, o qualsiasi altro dipinto dell'epoca, ma per giudicare la teoria della proiezione dobbiamo temporaneamente supporre insieme a Hockney che il dipinto si basi su una copia fedele di un'immagine proiettata.

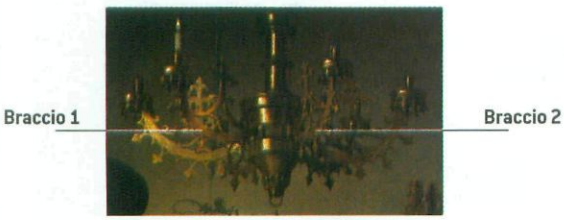
Guardiamo anzitutto lo specchio convesso, forse il più famoso della storia dell'arte. Oggi, specchi di questo tipo si trovano comunemente nei grandi magazzini o all'imbocco di strade senza visuale perché forniscono una visione grandangolare del mondo. A differenza degli specchi concavi, quelli convessi creano immagini virtuali non capovolte, più piccole dell'oggetto originale, che non possono essere proiettate su di una tela. Hockney, tuttavia, ipotizza che si sarebbe potuto girare al contrario questo specchio convesso e usarlo come specchio concavo per la proiezione: «Per avere l'attrezzatura ottica necessaria a ottenere il dettaglio meticoloso e naturale del quadro basterebbe argentare lo specchio dall'altro lato».

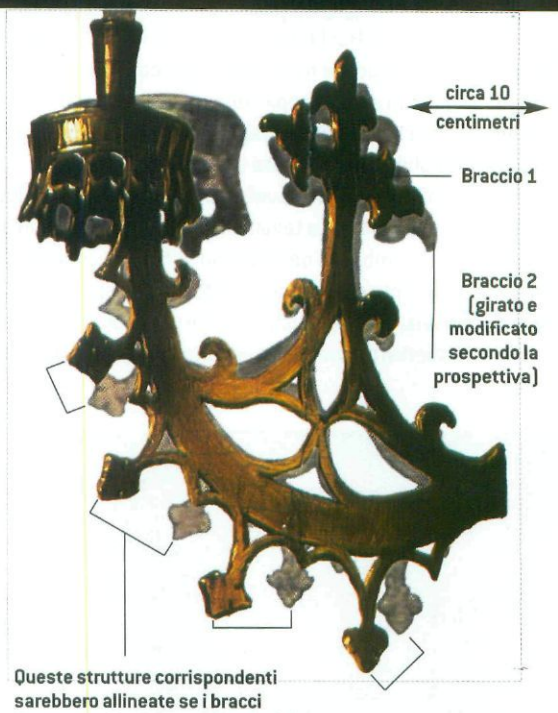
Per verificare questa ipotesi, ho calcolato la lunghezza focale dello specchio presumibilmente usato per la proiezione e quella dello specchio concavo che si sarebbe ottenuto capovolgendo quello convesso, e poi ho confrontato le due distanze. Ho scoperto che lo specchio usato per la proiezione avrebbe dovuto avere una distanza focale pari a 61 ± 8 centimetri; l'incertezza deriva dalla mia imperfetta conoscenza delle dimensioni e delle posizioni degli oggetti nella stanza. La lunghezza focale dello specchio concavo creato capovolgendo quello convesso è pari a 18 ± 4 centimetri. La distanza focale dello specchio rappresentato (capovolto) differisce di circa 43 centimetri da quella dello specchio presumibilmente usato per la proiezione. È impossibile che lo specchio raffigurato, rovesciato, sia stato usato come specchio di proiezione per l'intero dipinto.

Infatti, costruire uno specchio simile partendo da una sfera di vetro soffiato era al di là delle possibilità della tecnologia rinascimentale. Il diametro di una sfera è quattro volte la distanza focale di uno specchio concavo tagliato da essa. Per ottenere una distanza focale di proiezione pari a 61 centimetri serve una sfera di vetro dal diametro colossale di 2 metri e 40 centimetri. Uno specchio che sia una sezione di una sfera perfetta, inoltre, creerà un'immagine confusa di ogni punto della stanza di Arnolfini; sul supporto, ciascun punto si allarga creando un «punto sfocato» che, secondo i miei calcoli, sarebbe pari a varie volte la dimensione dello squisito dettaglio del dipinto. Qualunque delle inevitabili distorsioni di fabbricazione produrrebbe un'immagine ancora più degradata.

Gli artigiani del Rinascimento, inoltre, avrebbero incontrato varie difficoltà nell'argentare e sigillare uno specchio concavo che richiedeva l'applicazione di catrame e pece bollenti sulla parte esterna del vetro. Che io sappia nessuno specchio concavo

Per indagare sulla possibilità che il candeliere vero e proprio fosse notevolmente asimmetrico, l'autore e Antonio Criminisi hanno usato una simulazione computerizzata per raffigurare il candeliere dipinto (*in basso*) e hanno poi girato e sovrapposto due dei bracci come mostrato a destra. L'analisi ha rivelato sfasamenti di ben 10 centimetri. Il grado di trascuratezza nel candeliere vero e proprio è improbabile, secondo le misurazioni fatte su altri candelieri dell'epoca nei musei e sulla base di analisi computerizzate simili, effettuate su fotografie di tali candelieri.





Queste strutture corrispondenti sarebbero allineate se i bracci fossero perfettamente simmetrici

L'AUTORE

DAVID G. STORK è direttore scientifico della Ricoh Innovations e professore di ingegneria elettrica alla Stanford University, dove ha anche insegnato nel Dipartimento di arte e storia dell'arte. Laureato al Massachusetts Institute of Technology, Stork ha conseguito il dottorato in fisica all'Università del Maryland dopo aver studiato storia dell'arte al Wellesley College.

del genere, creato rivoltando una sfera di vetro, è rimasto nelle collezioni dei musei, e nessun documento dell'epoca parla di specchi concavi realizzati capovolgendo sfere di vetro soffiato.

La mia scoperta sull'improbabile distanza focale dello specchio presumibilmente usato per la proiezione ha un'altra implicazione che mette ancor più in dubbio la teoria di Hockney. Se scartiamo i grandi specchi sferici di vetro soffiato, restano solo i piccoli specchi in metallo lucidato, ben noti nel XV secolo, che tuttavia raccolgono male la luce. Ho calcolato e verificato sperimentalmente che, alla giusta distanza focale, per rendere un'immagine visibile sul supporto tali specchi hanno bisogno che il soggetto sia illuminato dalla luce solare diretta. È difficile conciliare questa esigenza con l'illuminazione chiaramente interna indiretta del ritratto degli Arnolfini e di molti dipinti del primo Rinascimento addotti come prova da Hockney.

Una prospettiva diversa

Vi sono altri elementi che fanno dubitare che van Eyck abbia dipinto gli Arnolfini servendosi di una proiezione. Un'immagine proiettata obbedisce alle leggi della prospettiva, ma le linee di prospettiva del pavimento, del telaio della finestra e di altri particolari del quadro non s'incontrano in un punto di fuga come dovrebbero. La prospettiva è costantemente incoerente. Inoltre, la riflettografia all'infrarosso rivela significative presenze di abbozzi preliminari a olio, non a matita, e varie revisioni in quasi tutto il dipinto, specialmente per le mani, i piedi e la testa di Arnolfini, difficilmente conciliabili con il ricalco di un'immagine riflessa. Lo splendido candeliere non presenta un disegno preparatorio. Forse questa difficile parte è stata disegnata usando una proiezione, all'esterno, con il lampadario illuminato direttamente dalla luce del sole. Secondo Hockney, il candeliere «è in prospettiva perfetta», come se fosse stato disegnato su di una proiezione. L'immagine sembra senz'altro in prospettiva. Ma lo è veramente?

Per rispondere a questa domanda, ho tracciato e allungato delle linee collegando le strutture corrispondenti ai bracci del candeliere dipinto [*si veda il box in queste due pagine*]. Le leggi della prospettiva geometrica garantiscono che nella proiezione di un candeliere simmetrico da parte di uno specchio concavo sul supporto di van Eyck, tutte le linee parallele si dovrebbero incontrare in un punto di fuga, proprio come l'immagine dei binari ferroviari che s'incontrano all'orizzonte in una fotografia. Ma le linee che ho tracciato sono piuttosto a casaccio e non mostrano alcuna traccia di un punto di fuga coerente al di sotto del lampadario.

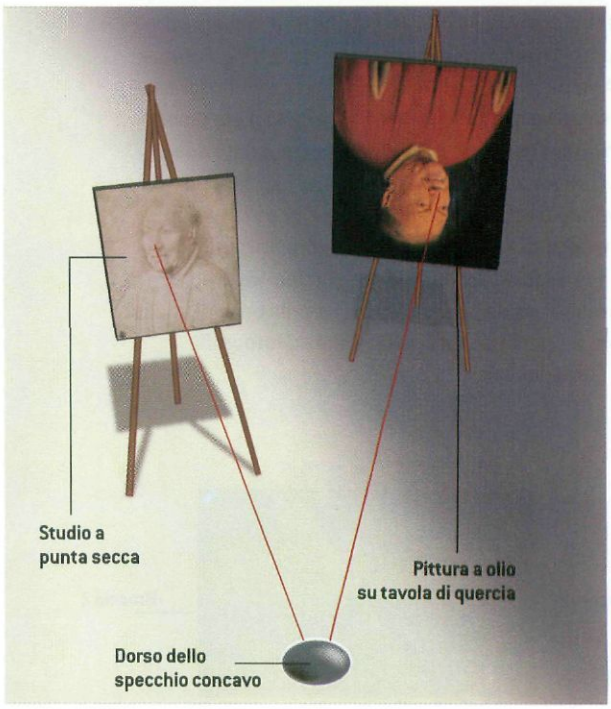
Questo non esclude la possibilità che la fonte dell'immagine proiettata fosse un candeliere asimmetrico. Ma quante probabilità ci sono che il candeliere che servì da modello a van Eyck fosse radicalmente asimmetrico?

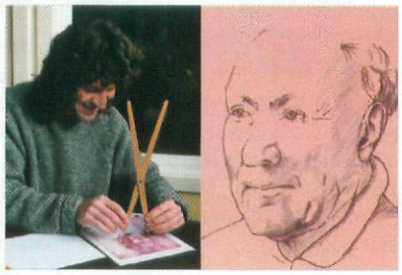
Per rispondere a questa domanda, insieme ad Antonio Criminisi, della Microsoft Research di Cambridge, Inghilterra, ho usato i suoi nuovi rigorosi algoritmi di visione computerizzata per «disfare» la prospettiva di ogni braccio; poi ho collocato le immagini così corrette una sull'altra. Ogni differenza tra i bracci dalla prospettiva corretta rivela la «sciatteria» che sarebbe stata necessaria per costruire il candeliere in modo che fosse coerente con la teoria della proiezione. Abbiamo visto che mentre poche parti si allineavano discretamente, lo sfasamento complessivo era davvero molto alto, anche di 10 centimetri.

La maggior parte degli studiosi ritiene che all'epoca di van Eyck i bracci degli oggetti metallici costruiti in Europa da una lega di ottone e rame fossero estratti interi da uno stampo singolo;

COPIARE IL CARDINALE

Secondo la teoria di Hockney, van Eyck avrebbe copiato e ingrandito uno studio a punta secca del cardinal Niccolò Albergati tramite un epidiascopio, un proiettore opaco rudimentale che proietta un'immagine da una superficie piatta a un'altra. Probabilmente la punta secca (*a sinistra nello schema*) era collocata su un cavalletto, illuminato da una luce forte, forse la luce solare. La tavola di quercia si trovava su un altro cavalletto in ombra (*a destra nello schema*), cosicché l'immagine capovolta e confusa proiettata dallo specchio concavo fosse visibile. Van Eyck avrebbe poi ricalcato a matita l'immagine proiettata, avrebbe capovolto la tavola e l'avrebbe dipinta.





In alto a sinistra e al centro: Staatliche Kunstsammlungen, Dresda, Kupferstich-Kabinett; in alto a destra e centro: *Ritratto di Niccolò Albergati*, Jan van Eyck, 1435, Kunsthistorisches Museum, Vienna; Tommy Moorman (*grafica, in alto a destra*); in basso: Michele Taylor (*sinistra*), Richard Taylor (*destra*)

Quando il ritratto a olio di Albergati è ridotto del 40 per cento circa e sovrapposto allo studio a punta secca (*sinistra*), i contorni combaciano con lo scarto di un millimetro, a riprova dell'alta fedeltà dello schema di riproduzione. L'orecchio sul dipinto a olio però, mostra una sfasatura verso destra e un ulteriore ingrandimento del 30 per cento. Hockney ipotizza che van Eyck abbia accidentalmente urtato la punta secca, il dipinto a olio o lo specchio e poi ricalcato l'immagine spostata. L'autore di queste pagine ritiene invece improbabile che van Eyck non si sia accorto di uno spostamento così notevole, e suggerisce che siano stati usati ausili da disegno come un compasso o un *Reductionszirkel*, cioè un paio di bacchette incrociate, provviste di un perno in un punto diverso dal centro, per ingrandire il disegno. (Per usare un Reductionszirkel l'artista dispone le due punte dello strumento sull'originale, poi ruota lo strumento sottosopra per segnare sulla copia una distanza in scala.) Richard Taylor, dell'Università dell'Oregon ha usato un Reductionszirkel per copiare la punta secca di Albergati (*estrema sinistra*). Quando la sua copia (*a sinistra*) è stata scandita digitalmente e sovrapposta all'immagine originale, la fedeltà è risultata ottima, salvo la parte dell'orecchio. Il Reductionszirkel potrebbe fornire una spiegazione per lo spostamento e l'ulteriore ingrandimento dell'orecchio: van Eyck aveva cominciato a copiare il lato sinistro del viso, utilizzando lo strumento per segnare la separazione tra la bocca e la punta del naso, tra i due occhi e così via. Ma il Reductionszirkel ha un raggio d'azione limitato e van Eyck non poteva allungarlo abbastanza da segnare la separazione tra il mento e l'orecchio. Ecco perché l'avrebbe preso e mosso a occhio sul lato della testa vicino all'orecchio, cominciando daccapo il processo, spostando l'orecchio rispetto alla parte del viso già disegnata.

PER APPROFONDIRE

HOCKNEY D. e FALCO C. M., *Optics at the Dawn of the Renaissance*, in «Proceedings of the Annual Meeting», Optical Society of America, Tucson, Arizona, 2003.

CRIMINISI A., KEMP M. e KANG SING-BING, *Reflections of Reality in Jan van Eyck and Robert Campin*, in «Historical Methods» (*in stampa*).

CRIMINISI A. e STORK D. G., *Did the Great Masters Use Optical Projections while Painting? Perspective Comparison of Paintings and Photographs of Renaissance Chandeliers*, International Conference on Pattern Recognition, Cambridge, Regno Unito, 23-26 agosto 2004. Disponibile sul sito web dell'autore.

Il sito web di Stork è: www-psych.stanford.edu/~stork/FAQs.html.

gli ornamenti non erano saldati o inchiodati sul braccio principale. In virtù di ciò, tutti i bracci avrebbero dovuto avere più o meno la stessa forma. Io e Criminisi abbiamo confermato la notevole simmetria dell'oggetto applicando la nostra analisi prospettica a una vera proiezione – da una fotografia moderna – di una colata diretta di un candeliere olandese a quattro bracci del XV secolo. I bracci dalla prospettiva corretta combaciano perfettamente; la discrepanza massima è inferiore ad un millimetro.

Alla base della teoria di Hockney c'è la convinzione che difficilmente van Eyck avrebbe potuto raggiungere «a occhio», cioè senza proiezione ottica, il grado di accuratezza prospettica effettivamente ottenuto. Ma quale livello di accuratezza prospettica si può raggiungere a occhio? Dietro mia richiesta l'artista britannico Nicholas Williams ha dipinto diversi lampadari complessi senza usare fotografie, ottica o costruzioni prospettiche. La nostra analisi dei suoi dipinti mostra che la prospettiva è eccellente – migliore di quella del candeliere degli Arnolfini – a dimostrazione del fatto che un bravo artista non ha bisogno di proiezioni per ottenere una buona prospettiva.

Il cardinal Albergati

Successivamente, ho analizzato il *Ritratto di Niccolò Albergati*, sempre di van Eyck. L'artista ha anzitutto tracciato un disegno del volto del cardinale, eseguito in tre giorni nel 1431. Realizzato con la tecnica della punta secca, in cui una punta di metallo impiegata su una carta appositamente preparata produce un'immagine ben definita, il disegno è chiaramente uno studio eseguito in preparazione di un lavoro più formale. L'anno seguente, van Eyck creò una copia più grande del ritratto, dipinta a olio su tavola di legno, e ciò comportò copiare e ingrandire un'immagine da una superficie piatta su un'altra superficie piatta.

Il collaboratore di Hockney, Falco, ha suggerito che van Eyck abbia creato il dipinto a olio servendosi di un proiettore ottico – vale a dire di un rudimentale epidiascopio, o proiettore opaco, composto di due cavalletti, uno che sosteneva la punta secca in un punto ben illuminato (presumibilmente alla luce del sole), l'altro a sostegno della tavola di legno in ombra, presumibilmente all'interno o sotto una tenda. Uno specchio concavo avrebbe proiettato un'immagine reale capovolta della punta secca sulla tavola, dove van Eyck, poi, l'avrebbe ricalcata. Hockney e Falco basano questa tesi su due caratteristiche salienti dei ritratti: l'alta fedeltà delle forme (in scala) e una discrepanza residua nel posizionamento di alcune parti dell'immagine, in particolare dell'orecchio (*si veda l'illustrazione nella pagina a fronte*).

Nel dipinto a olio l'orecchio è spostato di 30 gradi sulla destra ed è più largo del 30 per cento (oltre all'ingrandimento complessivo del dipinto a olio, pari al 40 per cento circa). Hockney e Falco spiegano lo spostamento ipotizzando che van Eyck abbia ricalcato una parte dell'immagine proiettata in un epidiascopio, poi abbia accidentalmente urtato la punta secca, l'olio o lo specchio e infine abbia ricalcato l'immagine restante, ora spostata.

Questa spiegazione presenta dei problemi. Se van Eyck avesse urtato la struttura a metà del lavoro, avrebbe sicuramente notato lo sfasamento tra l'immagine proiettata spostata e le linee già ricalcate sul supporto. Ho copiato una riproduzione della punta secca utilizzando un epidiascopio fatto in casa con un piccolo specchio circolare concavo e l'illuminazione solare diretta, e quando ho urtato di proposito il mio epidiascopio, ho riscontrato che la sfasatura era decisamente notevole. È improbabile che van Eyck, lavorando a un'importante commissione non si accorgesse di una tale sfasatura.

La punta secca avrebbe potuto essere copiata utilizzando un ausilio da disegno molto più semplice, come un compasso o un *Reductionszirkel*, un paio di bacchette incrociate, provviste di un perno in un punto diverso dal centro. L'artista posiziona le due punte sull'originale, poi ruota lo strumento sottosopra per segnare sulla copia una distanza in scala. Ho chiesto a Richard Taylor dell'Università dell'Oregon di costruire un Reductionszirkel e di usarlo per copiare e ingrandire la punta secca di Albergati. La sua precisione è eccellente, pari a meno di un millimetro nella maggior parte dell'immagine. Stranamente la resa dell'orecchio è un po' lontana, forse perché ha cominciato dall'estremità inferiore sinistra e il raggio d'azione limitato dello strumento ha causato l'errore.

Qual è stata la fonte?

Ma se, come sembra, Jan van Eyck non usò strumenti ottici durante l'esecuzione dei suoi lavori, ci troviamo di fronte alla domanda iniziale: che cosa portò, intorno al 1425, a quell'aumento di realismo nella pittura rinascimentale di cui van Eyck è forse il miglior rappresentante? Le spiegazioni addotte sono molte, alcune tecniche, altre culturali. Ma potrebbe persino esservi una ragione ottica.

Il primo Rinascimento coincide con l'introduzione dei colori a olio e proprio van Eyck viene spesso definito il padre della pittura a olio. Nella pittura a tempera dell'arte medievale, la sfumatura di valori che crea un effetto tridimensionale era quasi impossibile da ottenere. Gli oli, invece, permettevano il passaggio da una tonalità di colore a un'altra tramite una sfumatura continua come pure l'utilizzo delle nuove tecniche di velatura e stesura stratificata del colore, e prendevano in considerazione una gamma di tinte più ampia, inclusi colori saturi molto più vivi. Ma forse la proprietà più importante dei colori a olio è che si asciugano molto più lentamente dei mezzi usati in precedenza, permettendo all'artista di modificare e sviluppare un'immagine per mesi o anni.

All'incirca nello stesso periodo, gli artisti italiani inventarono la prospettiva lineare. Questo sistema matematico basato su una linea d'orizzonte, un punto di fuga e line ortogonali o «raggi visivi» che dirigono l'occhio dell'osservatore al punto di fuga, creava l'illusione dello spazio e della distanza su una superficie piana e permetteva agli artisti di rappresentare scene più naturalistiche. Un'altra innovazione tecnica dell'epoca è rappresentata dallo studio dei cadaveri compiuto per la prima volta dagli artisti, che miglioravano così la loro conoscenza della struttura muscolare e scheletrica.

Le forze culturali che prepararono la strada per la nuova arte furono molte. Il Rinascimento diede impulso al laicismo e agli ideali classici che auspicavano una maggiore attenzione sugli esseri umani. Anche l'aumento del mecenatismo svolse un ruolo importante: i pittori rinascimentali dovevano rappresentare un individuo ben preciso e i suoi averi. Se il dipinto di Arnolfini eseguito da van Eyck non fosse stato fedele o non fosse venuto bene, questo potente mecenate non avrebbe appoggiato l'artista.

Christopher W. Tyler, dello Smith-Kettlewell Eye Research Institute di San Francisco ha suggerito una spiegazione «ottica» per l'aumento di realismo, che non ha nulla a che fare con la teoria di Hockney: la diffusione sempre maggiore di occhiali. Forse gli artisti che avevano bisogno di occhiali – e li possedevano – erano semplicemente in grado di vedere più nitidamente, specialmente nei dettagli in primo piano dei dipinti. In effetti, la *Madonna del canonico van der Paele* (1436) di van Eyck mostra l'offerente che tiene degli occhiali, e dalla macchia luminosa proiettata da una delle lenti deduco che si tratta di lenti convergenti, cioè del tipo che aiuterebbe una persona ipermetrope a leggere da vicino – o un pittore ipermetrope a dipingere dettagli perfetti. Hockney una volta ha detto informalmente che sembra che la pittura occidentale abbia messo gli occhiali per la prima volta più o meno agli inizi del Rinascimento. Forse ha più ragione di quanto non sappia. LS

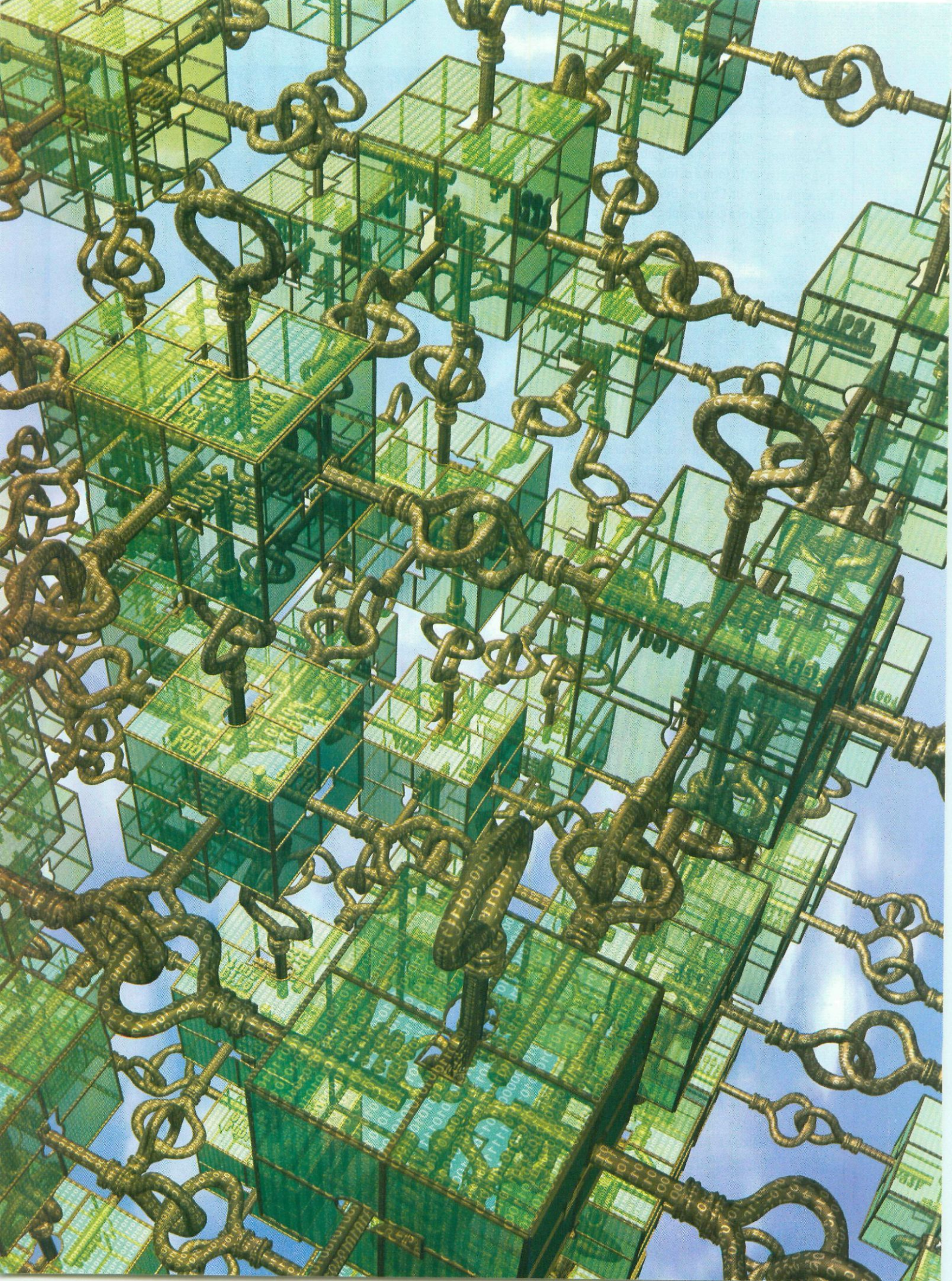
I segreti meglio custoditi

La crittografia quantistica è passata dalla teoria al laboratorio, per approdare finalmente alle applicazioni

di Gary Stix

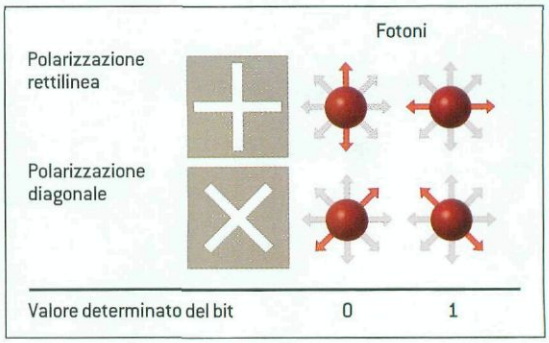
Presso il laboratorio di ricerca Thomas J. Watson dell'IBM, Charles Bennett è noto come un brillante teorico, uno dei padri del campo emergente del calcolo quantistico. Come molti teorici, non ha fatto grande esperienza di laboratorio. La sua distrazione è proverbiale: una volta riuscì a far diventare rossa una teiera da verde lasciandola «un po' troppo» sul fornello. Ma nel 1989 Bennett e i suoi colleghi John A. Smolin e Gilles Brassard vinsero l'antipatia per il laboratorio e intrapresero un esperimento rivoluzionario, che avrebbe messo alla prova un nuovo sistema crittografico basato sui principi della meccanica quantistica. Il gruppo mise in piedi un apparato in cui i fotoni si muovevano lungo un canale di 30 centimetri in una scatola a prova di luce, talmente buia che l'avevano chiamata «la bara della zia Marta». La direzione in cui essi oscillavano, la loro polarizzazione, rappresentava gli zeri e gli uni di una serie di bit quantistici, o qubit. E i qubit contenevano una chiave che poteva essere usata per cifrare o decifrare un messaggio. A tenere la chiave al sicuro da ogni possibile ficcanaso era il principio di indeterminazione di Heisenberg, che, come sappiamo, afferma che misurando una proprietà di un sistema quantistico se ne disturba un'altra. In un sistema crittografico quantistico, ogni intrusione nel flusso di fotoni li altera in un modo che è rilevabile sia da chi spedisce sia da chi riceve il messaggio. In linea di principio, la tecnica permette di avere una chiave crittografica inespugnabile.

Jean-Francois Podevin



LA MECCANICA QUANTISTICA NASCONDE LA CHIAVE DI CIFRATURA

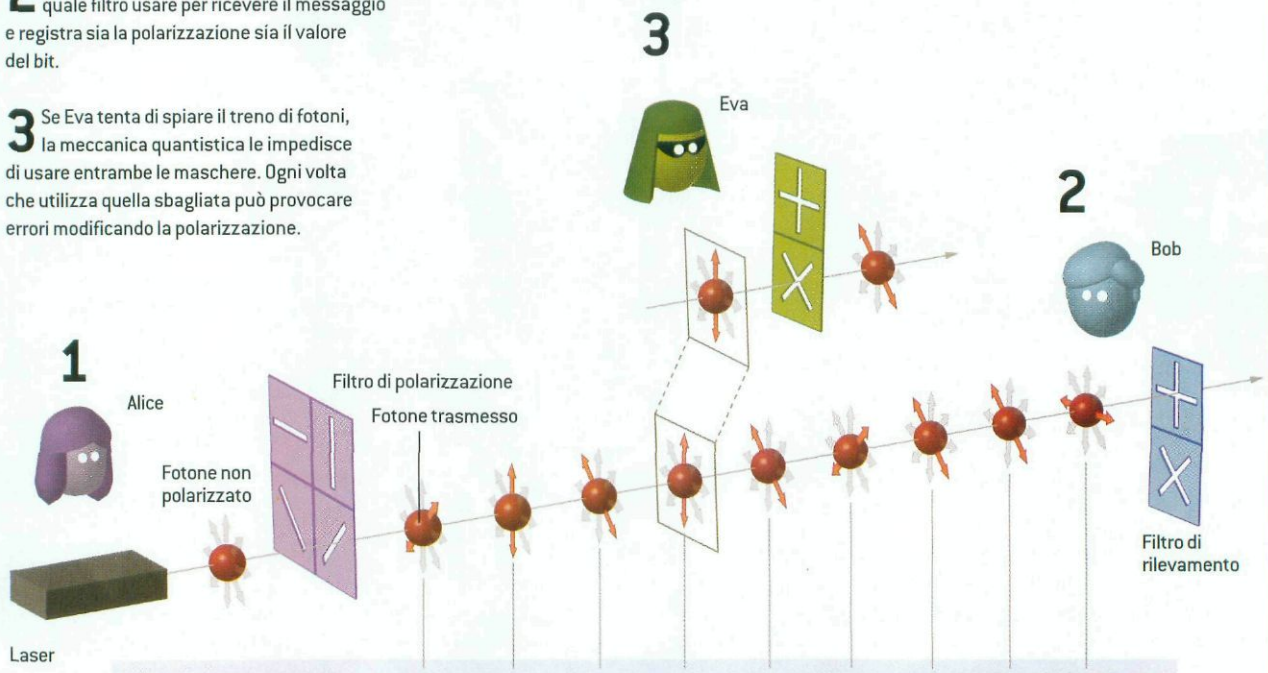
Alice e Bob vogliono impedire che Eva, l'intruso, possa intercettare il loro messaggio trasmettendo una chiave quantistica sotto forma di fotoni polarizzati, secondo uno schema ideato da Charles Bennett e dai suoi colleghi dell'IBM negli anni ottanta e ora applicato in vari prodotti commerciali.



1 Per iniziare a creare la chiave, Alice manda un fotone attraverso la fenditura 0 o 1 di un filtro polarizzatore rettilineo o di uno diagonale, registrando le varie orientazioni.

2 Per ciascun bit in arrivo, Bob decide a caso quale filtro usare per ricevere il messaggio e registra sia la polarizzazione sia il valore del bit.

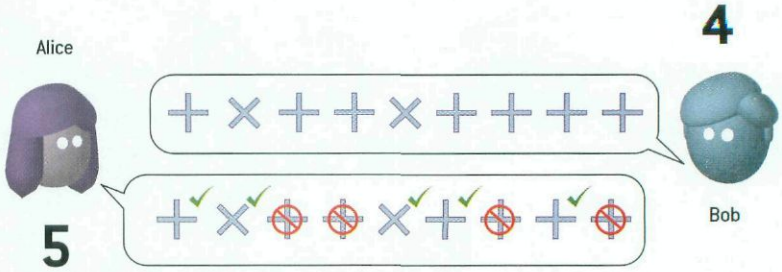
3 Se Eva tenta di spiare il treno di fotoni, la meccanica quantistica le impedisce di usare entrambe le maschere. Ogni volta che utilizza quella sbagliata può provocare errori modificando la polarizzazione.



Sequenza di bit di Alice:	0	0	1	0	1	0	1	1	1
Schema di filtraggio di Alice:	/	|	\	|	\	/	\	\	–
Schema di rilevamento di Bob:	+	+	+	+	×	+	+	×	+
Misurazione dei bit di Bob:	1	0	1	0	1	0	0	1	1
Sequenza ottenuta (chiave):	–	0	–	0	1	–	–	1	1

4 Dopo che Bob ha ricevuto tutti i fotoni, riferisce ad Alice su un canale pubblico, anche per telefono o per posta elettronica, la sequenza di filtri che ha usato per osservare i fotoni.

5 Alice indica a Bob, durante la stessa conversazione, quali filtri ha scelto correttamente. I bit corrispondenti formeranno la chiave che Alice e Bob useranno per crittografare e decifrare i messaggi.



Tommy Moorman; adattato da *Codici e segreti. La storia affascinante dei messaggi cifrati dall'antico Egitto a Internet*, Simon Singh, 2002

CHI VENDE LE CHIAVI INVIOLABILI

AZIENDA	TECNOLOGIA
id Quantique Ginevra	Sistema basato sulle fibre ottiche che permette la trasmissione di chiavi crittografiche quantistiche per decine di chilometri.
MagiQ Technologies New York	Sistema basato sulle fibre ottiche che permette la trasmissione di chiavi crittografiche quantistiche fino a 100 chilometri. Comprende anche l'hardware e il software per la trasmissione del messaggio criptato con la chiave distribuita sulla connessione quantistica.
NEC	Ha in programma di distribuire un prodotto quest'anno, dopo la dimostrazione del 2004 della trasmissione di chiavi per una distanza record di 150 chilometri.
QinetiQ Farnborough, Inghilterra	Fornisce servizi per trasferire chiavi via aria a distanze fino a 10 chilometri. Ha fornito un sistema alla BBN Technologies.

L'arrivo dei computer quantistici porterà **al definitivo abbandono** delle tecniche basate sulla fattorizzazione

Oggigiorno la crittografia quantistica ha fatto molta strada dall'improvvisato progetto assemblato su un tavolo dell'ufficio di Bennett. La National Security Agency statunitense e le sedi della Federal Reserve possono già acquistare un sistema di crittografia quantistica da due piccole aziende e presto arriveranno sul mercato altri prodotti. Questo nuovo metodo crittografico è una delle più importanti applicazioni commerciali di quella fusione fra meccanica quantistica e scienza dell'informazione che è conosciuta con il nome di informatica quantistica. Da questo campo potrebbe infine emergere un computer quantistico così potente che l'unico modo di proteggersi dalla sua prodigiosa capacità di decifrare i codici sarebbe proprio quello di utilizzare tecniche crittografiche quantistiche.

La sfida che deve affrontare chi vuole mettere a punto codici inviolabili è quella di far condividere una chiave al mittente e al ricevente assicurandosi che nessuno ne abbia trafugato una copia. L'algoritmo crittografico vero e proprio potrebbe anche essere noto pubblicamente, fintanto che viene tenuta segreta la chiave usata per la cifratura e la decodifica dei messaggi. Oggi la sicurezza di un messaggio dipende dalla lunghezza della chiave: quanto maggiore è il numero di bit, tanto più è difficile da decifrare. Per creare la chiave spesso si ricorre alla fattorizzazione, poiché è semplice calcolare il prodotto di due grandi numeri, ma è estremamente difficile fattorizzarli in numeri primi. L'algoritmo di codifica RSA, di uso comune, si basa proprio sulla fattorizzazione. Un messaggio viene codificato con una chiave pubblica, magari un grande numero, come 408.508.091 (in realtà si usano numeri ben più grandi), ma può essere decifrato solo con una chiave segreta posseduta dal destinatario, costituita da due fattori come 18.313 e 22.307. La difficoltà di violare questi codici potrebbe garantire la sicurezza della maggior parte dei dati per un decennio o forse più. Ma l'avvento dell'informatica quantistica – e in particolare la capacità, per ora solo ipotetica, dei calcolatori quantistici di eseguire fattorizzazioni «mostruose» – potrebbe segnare la fine dell'RSA e di altri schemi crittografici simili. «Se i computer quantistici diventeranno una realtà, cambierà tutto», spiega John Rarity, docente di ingegneria elettronica all'Università di Bristol, in Gran Bretagna.

Una tecnica per spedire chiavi crittografate quantisticamente richiede un laser impulsato capace di emettere singoli fotoni polarizzati in uno di due modi. Nel primo, i fotoni sono polarizzati in verticale o in orizzontale (modo rettilineo); nel secondo sono orientati di 45 gradi a destra o a sinistra (modo diagonale). In entrambi i modi, le opposte posizioni dei fotoni rappresentano uno 0 o un 1 digitale. Il mittente, che tutti i crittografi chiamano per convenzione Alice, invia una stringa di bit, scegliendo a caso di mandare fotoni nel modo rettilineo o diagonale. Il destinatario, Bob nel linguaggio dei crittografi, prende una decisione altrettanto casuale riguardo al modo in cui misurare i bit in arrivo. Il principio di indeterminazione di Heisenberg dice che Bob può misurare i bit in un modo soltanto, non in entrambi. Solo i bit che Bob misura nello stesso modo in cui sono stati inviati da Alice hanno l'orientazione corretta, e mantengono il giusto valore.

Dopo la trasmissione, Bob si mette in comunicazione con Alice su un canale non protetto, per dirle quale dei due modi ha usato per ricevere ciascun fotone. Senza rivelare, però, i valori dei bit rappresentati da ciascun fotone. Alice allora dice a Bob quali fotoni sono stati misurati correttamente. Entrambi ignorano i fotoni che non sono stati osservati nel modo corretto. I valori dei fotoni misurati correttamente costituiscono la chiave, che viene combinata con un algoritmo per cifrare il messaggio.

I primi prodotti

Se qualcuno ascolta – chiamiamo Eva la spia – non può misurare entrambi i modi, grazie al principio di indeterminazione. Se fa le misure nel modo sbagliato, anche se rimanda i bit a Bob nello stesso modo in cui li ha misurati, inevitabilmente introdurrà alcuni errori. Alice e Bob possono così accorgersi della spia confrontando alcuni bit selezionati e verificando la presenza di errori.

A partire dal 2003, due aziende – la id Quantique di Ginevra e la MagiQ Technologies di New York – hanno lanciato prodotti commerciali che permettono di inviare una chiave codificata in modo quantistico ben più lontano dei 30 centimetri dell'esperimento di Bennett. Anche la NEC, che ha raggiunto una distanza di trasmissione record di 150 chilometri, presenterà probabilmente un prodotto commerciale entro la fine dell'anno. Altri, come IBM, Fujitsu e Toshiba, stanno svolgendo intense ricerche.

I prodotti sul mercato possono mandare chiavi lungo collegamenti personalizzati in fibra ottica per varie decine di chilometri: un sistema della MagiQ costa tra i 70.000 e i 100.000 dollari. «Un certo numero di clienti sta sperimentando il sistema, che però non è stato finora usato in modo intensivo su nessuna rete di grandi dimensioni», dice Robert Gelfond, che ha fondato MagiQ Technologies nel 1999. Il nome dell'azienda è stato ispirato da una famosa frase di Arthur C. Clarke: «Ogni tecnologia sufficientemente avanzata è indistinguibile dalla magia».

Alcuni enti governativi e istituzioni finanziarie temono che un messaggio criptato possa essere registrato oggi e memorizzato per un decennio o più, fino a quando non ci sarà un computer

quantistico in grado di decifrarlo. Richard Hughes, un ricercatore in crittografia quantistica del Los Alamos National Laboratory, cita alcuni esempi di informazioni che devono rimanere segrete per tempi lunghi: registri di bilancio, la formula della Coca-Cola, i codici di comando di un satellite commerciale. Tra i possibili clienti di un sistema crittografico ci sono i fornitori di telecomunicazioni, che devono offrire ai clienti un servizio ultrasicuro.

Allargare le reti

Intanto sono iniziati i primi tentativi di incorporare la crittografia quantistica in una vera rete, e non solo in semplici connessioni da punto a punto. La Defense Advanced Research Projects Agency statunitense ha finanziato un progetto da quattro milioni di dollari per connettere sei nodi di rete che si estendono tra la Harvard University, l'Università di Boston e la BBN Technologies, una società che ha svolto un importante ruolo nella diffusione di Internet. Le chiavi criptate vengono spedite attraverso collegamenti dedicati, mentre i messaggi, una volta cifrati, sono trasmessi su Internet. «Questa è la prima rete a crittografia quantistica a funzionare in modo continuativo fuori da un laboratorio», osserva Chip Elliott, direttore del progetto. La rete, progettata semplicemente per dimostrare che la tecnologia funziona, trasferisce anche il normale traffico Internet. «I soli segreti a cui possiamo pensare qui sono le ubicazioni dei parcheggi vuoti», sorride Elliott. Lo scorso autunno, id Quantique e Deckpoint, un provider Internet di Ginevra, hanno testato per un mese una rete che permetteva a un gruppo di server di Ginevra di avere i loro dati salvati in un sito a 10 chilometri di distanza, con le chiavi distribuite lungo un collegamento criptato quantisticamente.

Queste prime applicazioni della crittografia quantistica riguardano reti di limitata estensione geografica. La forza della tecnica – il fatto che una lettura abusiva del messaggio lo cambi inevitabilmente – comporta però che i segnali che trasportano le chiavi cifrate non possono essere amplificati da sistemi che ripristinino un segnale indebolito fino a un successivo ripetitore. Un amplificatore ottico rovinerebbe i qubit.

Per estendere la distanza lungo la quale possono essere distribuite le chiavi quantistiche i ricercatori stanno cercando altri mezzi che non siano le fibre ottiche. Alcuni si sono arrampicati sulle vette delle montagne – dove la rarefazione dell'aria minimizza la turbolenza atmosferica – per dimostrare la possibilità di inviare qubit attraverso l'aria. In un esperimento condotto al Los Alamos National Laboratory nel 2002 fu creato un collegamento di 10 chilometri. Un altro, eseguito nello stesso anno dalla QinetiQ di Farnborough, in Gran Bretagna, e dalla Ludwig-Maximilian University di Monaco, riuscì a collegare due vette alpine distanti 23 chilometri.

Ottimizzando questa tecnologia – con sistemi di ricezione più grandi, filtri più sofisticati e trattamenti antiriflesso migliori – si potrebbe costruire un sistema in grado di trasmettere e ricevere segnali per oltre 1000 chilometri, abbastanza da raggiungere un satellite in orbita bassa. Una rete di simili satelliti permetterebbe una copertura mondiale. L'Agenzia spaziale europea sta sviluppando un progetto per un collegamento sperimentale da terra a un satellite. (Nell'aprile scorso l'Unione Europea ha lanciato anche un progetto per sviluppare la crittografia quantistica su reti di comunicazione, un piano stimolato in parte dall'esigenza di prevenire intercettazioni da Echelon, il sistema di spionaggio dei servizi segreti di Stati Uniti, Gran Bretagna, Canada, Australia e Nuova Zelanda.)

Infine, i crittografi sperano di riuscire a ideare una specie di ripetitore quantistico: in sostanza, una sorta di computer quantistico che consenta di superare i limiti di distanza. Un simile ripetitore sfrutterebbe quello che Einstein chiamò *spukhafte Fernwirkungen*, una «fantomatica azione a distanza». Anton Zeilinger e i suoi colleghi dell'Istituto di fisica sperimentale di Vienna hanno fatto un primo passo verso un ripetitore quando hanno riferito su «Nature», il 19 agosto scorso, che il loro gruppo aveva steso un cavo a fibra ottica in un tunnel fognario sotto il Danubio, collocando due fotoni *entangled* («intrecciati») alle due estremità. La misura dello stato di polarizzazione di un fotone (orizzontale, verticale e così via) determina immediatamente una polarizzazione identica che può essere misurata nell'altro.

Questa proprietà dei fotoni era apparsa inaccettabile a Einstein, ma Zeilinger e il suo gruppo hanno sfruttato il legame fra due fotoni *entangled* per «teletrasportare» per 600 metri attraverso il Danubio l'informazione contenuta in un terzo fotone. Un simile sistema potrebbe essere esteso a passaggi multipli, tanto da trasmettere i qubit di una chiave attraverso oceani o *continenti*. Ma rendere realtà tutto questo richiederà lo sviluppo di componenti esoterici, come una memoria quantistica capace di memorizzare i qubit senza corromperli prima che siano inviati al nodo successivo. «Tutto questo è ancora nelle primissime fasi di ricerca, dentro i laboratori di fisica», chiarisce Nicolas Gisin, docente all'Università di Ginevra e consulente della id Quantique.

PER APPROFONDIRE

BENNETT C. H., BRASSARD G. ed EKERT A. K., *Crittografia quantistica*, in «Le Scienze» n. 292, dicembre 1992.
SINGH S., *Codici e segreti. La storia affascinante dei messaggi cifrati dall'antico Egitto a Internet*, Rizzoli, 2002.
Informazioni sui prodotti di crittografia quantistica possono essere reperite sui siti web della id Quantique (idquantique.com) e della MagiQ Technologies (magiqtech.com).

La proprietà quantistica che era sembrata inaccettabile a Einstein è stata oggi sfruttata dai ricercatori per «teletrasportare» l'informazione quantistica

Una memoria quantistica potrebbe essere implementata più facilmente usando atomi al posto di fotoni. Un esperimento pubblicato il 22 ottobre scorso su «Science» ha mostrato come si potrebbe fare. Partendo da un'idea nata all'Università di Innsbruck, un gruppo del Georgia Institute of Technology ha descritto un modo per rendere *entangled* due nuvole di atomi di rubidio ultrafreddi e, grazie a quel legame quantistico, utilizzarle per memorizzare un identico qubit per un tempo molto più lungo di quanto non si possa fare con un fotone. Negli esperimenti il valore di un qubit è stato trasmesso dalla nube a un fotone, trasmettendo informazione dalla materia alla luce. Intrecciando una serie di nuvole, Alex Kumich e Dzmitry Matsukevich, del Georgia Tech, sperano di riuscire a realizzare ripetitori che possano trasferire qubit per lunghe distanze senza perdite di segnale.

La presunta inviolabilità della crittografia quantistica si basa su una serie di assunzioni che potrebbero non applicarsi necessariamente al mondo reale. Una di queste è che un unico fotone

LA CRITTOGRAFIA che coinvolge gli stati quantici di un sistema utilizza tecnologie così avanzate che la maggior parte del lavoro è ancora confinata in laboratori universitari come questo dell'Università di Ginevra.

Sam Ogden

rappresenta ciascun qubit. La crittografia quantistica funziona prendendo un laser impulsato e riducendone l'energia fino al punto in cui tipicamente diventa improbabile che più di un impulso su dieci contenga un fotone (gli altri sono «bui»), il che spiega perché la velocità di trasmissione è tanto bassa. Ma questa è solo una probabilità statistica, e l'impulso potrebbe invece contenere più di un fotone. Una spia potrebbe, in teoria, rubare il fotone in più e usarlo per aiutarsi a decodificare il messaggio. Un algoritmo software, conosciuto con il nome di «amplificazione della privacy», aiuta a tutelarsi contro questa possibilità mascherando i valori dei qubit.

Ma i crittografi vorrebbero anche disporre di migliori sorgenti e rivelatori di fotoni. Il National Institute of Standards and Technology (NIST) è uno dei molti centri che lavorano su questi dispositivi. «Un'area molto interessante è lo sviluppo di rivelatori che possano distinguere fra uno, due o più fotoni che arrivino allo stesso tempo», dice Alan Migdall, del NIST. Sempre al NIST, altri ricercatori hanno anche tentato di risolvere il problema della lentezza della trasmissione, generando chiavi quantistiche al ritmo di un megabit al secondo, 100 volte più velocemente di ogni risultato precedente e abbastanza per distribuire chiavi per applicazioni video.

I sistemi crittografici quantistici, e anche gli altri, saranno comunque anch'essi vulnerabili a qualche forma banale di attacco. Gli assalti di un intruso potrebbero sfruttare vari trucchi per bloccare i rivelatori del destinatario mentre i qubit in arrivo vengono deviati a una stazione di ascolto. Così come sarà sempre impossibile escludere un lavoro dall'interno. «Il tradimento è il metodo principe», osserva Seth Lloyd, un esperto di calcolo quantistico presso il Massachusetts Institute of Technology. «Non c'è nulla che la meccanica quantistica possa fare in questo caso». Ciò nonostante, nell'era dell'informatica quantistica, questi nuovi modi di mantenere i segreti saranno meglio di ogni altro metodo finora descritto nei manuali. LS

clicca qui:
www.lescienze.it
e vai oltre la carta stampata

visita le pagine del sito
http://www.lescienze.it/
e scopri tutti

i servizi disponibili solo in rete

Notiziario a domicilio

Un **servizio gratuito** di informazioni scientifiche, con la possibilità di ricevere le notizie direttamente al proprio indirizzo di posta elettronica e di scegliere le discipline su cui si vuole essere aggiornati.

Questo mese in edicola

La presentazione di tutte le nostre **pubblicazioni** in edicola ogni mese, con il sommario, il riassunto degli articoli, le note biografiche degli autori e i link di approfondimento alle pagine Web di università, centri di ricerca e istituzioni.

Recensioni

Tutti i **libri** selezionati dalla redazione e recensiti ogni mese su LE SCIENZE si possono acquistare direttamente online.

Prodotti e servizi

Dalle pagine del sito è possibile abbonarsi, rinnovare l'abbonamento, richiedere arretrati e raccoglitori, grazie al **server di pagamento sicuro**.

Vai su

LE SCIENZE on line

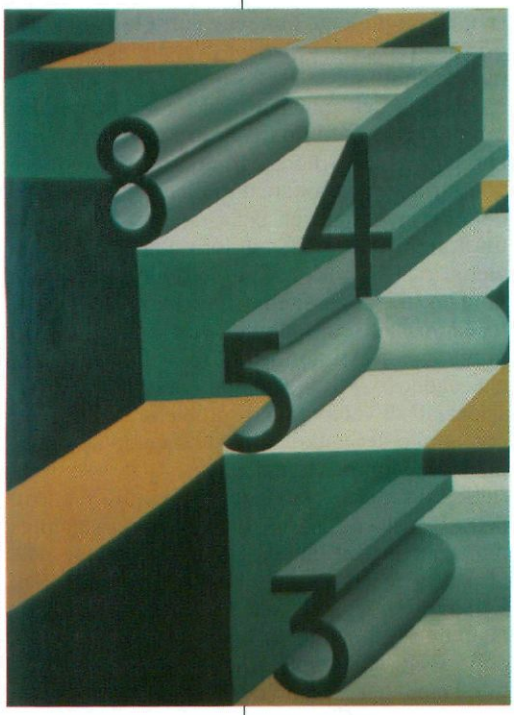
la scienza in rete

per informazioni: info@lescienze.it

Il Kamasutra secondo la matematica

di Piergiorgio Odifreddi

Che ci sia almeno una relazione fra sesso e matematica, è ovvio: la risposta alla domanda su quanti siano i sessi, è infatti «due». Il problema è se ce ne siano di più: di relazioni, e magari anche di sessi. Ora, tutto sta a intendersi: se i sessi di una specie sono le partizioni degli individui in classi di riproduzione, allora la situazione si può descrivere mediante un grafo simmetrico, in cui i nodi individuano i sessi, e i lati le possibilità di riproduzione.



© Museo d'Arte Moderna e Contemporanea di Trento e Rovereto

NUMERI INNAMORATI, di Giacomo Balla (1923), fa parte della collezione permanente del Museo d'arte moderna e contemporanea di Trento e Rovereto.

A parte il caso delle specie con un solo sesso, cioè con riproduzione sessuata ermafrodita, la natura sembra privilegiare grafi non riflessivi completi: in cui, cioè, nessun nodo è collegato con se stesso, ma ciascuno è collegato con tutti gli altri. E il numero di sessi può variare da zero (incluso, per le specie a riproduzione asessuata) a infinito (escluso): per esempio, gli animali ne hanno 2, certi tipi di chiocciola 13, i funghi a ombrello addirittura 10.000.

Per specie come la nostra, con un sostanziale equilibrio numerico tra i vari sessi, la situazione meno favorevole dal punto di vista evolutivo è proprio quella con due soli sessi: in tal caso, infatti, ogni individuo può al massimo accoppiarsi con metà della popolazione. E, come tutti sappiamo, il problema diventa allora la ricerca e la scelta del partner: in particolare, se crediamo che «Dio li fa e poi li accoppia», cercheremo fra i nostri simili, e se invece pensiamo che «gli opposti si attraggono», cercheremo fra i diversi da noi.

Nel 1965 Donn Byrne e Don Nelson hanno scoperto che l'attrazione è una funzione lineare della proporzione di somiglianza percepita: precisamente, $a = 5{,}44\ s + 6{,}62$. In altre parole, l'attrazione che esercitiamo su un'altra persona non dipende dal *numero* di aspetti su cui lei concorda con noi, ma dalla loro *percentuale* rispetto al totale: dunque, durante il corteggiamento è bene evitare troppi argomenti sensibili, e produrne invece molti non impegnativi.

L'attrazione determina i possibili candidati del cuore: il problema è come scegliere tra loro l'amore della propria vita. O, matematicamente, come scegliere un numero da una sequenza che viene generata, in modo da massimizzare la probabilità che esso sia il massimo. Il problema è stato risolto nel 1966 da John Gilbert e Frederick Mosteller: se la sequenza ha n elementi, se ne lasciano passare approssimativamente n/e (dove e è la base dei logaritmi naturali), e poi si prende il primo che è maggiore di tutti loro. Per esempio, se ci sono 100 elementi si sceglie dopo i primi 37. Nella vita, dove in genere abbiamo meno occasioni e ci accontentiamo anche non del meglio, scegliere il meno peggio dopo una decina di tentativi dovrebbe essere sufficiente.

Una volta scelto il partner, il problema diventa riuscire a tenerselo. Nel 1962 David Gale e Lloyd Shapley hanno usato la teoria dei giochi per mostrare che alla lunga i matrimoni diventano socialmente stabili, nel senso che ogni persona si assesta sul rispettivo partner. C'è però un prezzo da pagare: questa stabilità si raggiunge soltanto attraverso una lunga serie di divorzi e matrimoni, in cui ciascuno cerca e trova potenziali partner che preferisce al proprio attuale, e che preferiscono lui o lei al loro attuale. Nel caso peggiore, il numero di divorzi e matrimoni è pari al prodotto dei possibili partner: per esempio, su una popolazione di 10 milioni di donne e 10 milioni di uomini, a circa 100.000 miliardi di divorzi e matrimoni, per la gioia dei tribunali e dei comuni.

Che succede, però, alla vita amorosa tra due partner più o meno stabili? Un semplice modello matematico è stato trovato nel 1988 da Steven Strogatz: se chiamiamo i due amanti Giulietta e Romeo, si può immaginare che la variazione nel tempo dell'amore di uno dipenda linearmente dall'andamento dell'amore proprio e altrui: per esempio nel caso di Romeo si arriva a un'equazione differenziale del tipo $dR/dt = aR + bG$, e analogamente nel caso di Giulietta. Ci sono dunque quattro parametri da determinare, con tre possibili scelte (positiva, nulla, negativa) per ciascuno: si ottengono così 81 possibili modelli, ciascuno con i propri equilibri o squilibri, sui quali un giorno magari torneremo.

Per ora ci basta concludere che, con tutte queste applicazioni di ordine sessuale, la matematica non può certo essere considerata una masturbazione intellettuale!

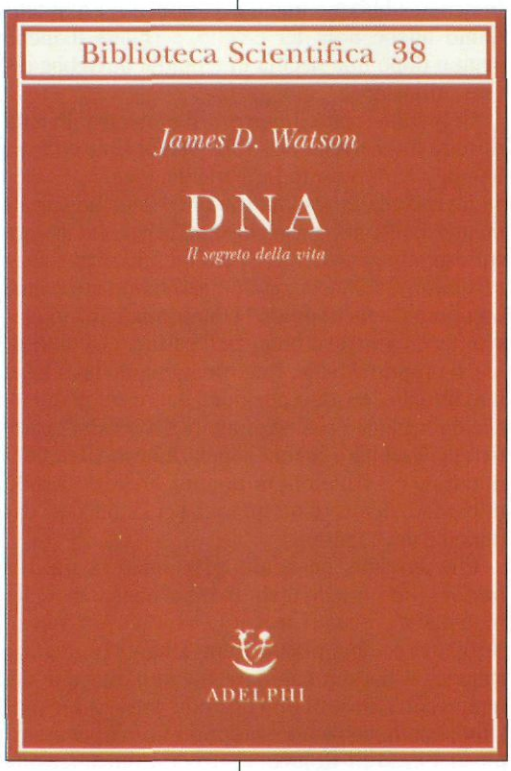
La genetica secondo Watson

DNA. IL SEGRETO DELLA VITA
di James D. Watson e Andrew Berry
Adelphi, Milano, 2004, pp. 462 (euro 39,50).

di Edoardo Boncinelli

Il DNA è il depositario dell'informazione genetica. È una molecola molto lunga contenente miliardi di unità elementari messe in fila. Queste unità sono chiamate nucleotidi e sono di quattro tipi: A, G, C e T. La molecola di DNA si presenta quindi come un lunghissimo testo scritto con quattro soli caratteri. Questo testo contiene – e nello stesso tempo incarna – il messaggio genetico caratteristico di ciascun individuo.

Il DNA è contemporaneamente il veicolo del messaggio e il messaggio stesso: un messaggio vivente, oggetto in continuazione di attacchi da parte di perturbazioni casuali all'interno della cellula ma anche di una certa opera di correzione. Ignoriamo ancora una quantità impressionante di fatti e di spiegazioni, ma si è oggi convinti che l'essenza della vita sia stata colta, e che a questa essenza si possa dare un nome: parlo ovviamente del DNA e dell'azione concertata dei geni che contiene.



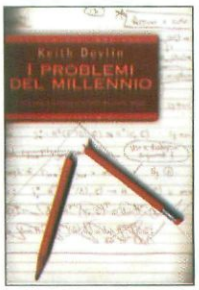
Come accade in questi casi, probabilmente non abbiamo ancora colto tutte le implicazioni dell'identificazione, avvenuta nel 1953, della forma molecolare del DNA come coppia di filamenti che corrono antiparalleli e che si avvitano su se stessi acquisendo una struttura particolare, la famosa doppia elica. Nessuna guida migliore per questo viaggio intellettuale di James Watson, che quel clima ha vissuto da protagonista e che un protagonista di spicco è poi certamente stato delle vicende della genetica degli anni che ci separano da quella scoperta.

Watson ha avuto un ruolo fondamentale, insieme a Francis Crick, recentemente scomparso, nel dare una veste luminosa al modello della doppia elica, e ha scritto libri che hanno fatto epoca, sia quando si è dedicato a esporre i dettagli di quello che stava succedendo sul piano puramente scientifico, sia quando ha avuto la brillante intuizione di ritrarre dal vivo alcuni degli eventi e dei personaggi degli anni della prima biologia molecolare. Nel cinquantenario della scoperta della doppia elica ha pensato di ritornare sui suoi temi di sempre – la genetica, il DNA, la salute e la malattia in rapporto alla società di ieri e di oggi – e lo ha fatto da par suo, con il presente libro che narra la storia delle principali scoperte genetiche degli ultimi centocinquanta anni.

Al di là dell'anatema heideggeriano, sono in tanti oggi, soprattutto nel nostro paese, a credere che gli scienziati non pensino, ma si trovino al contrario a impersonare il ruolo di attori imbambolati e inconsapevoli nella rappresentazione di un dramma più grande di loro. Può darsi che in alcuni casi sia così, ma in molti altri certamente no. È lo stile di pensiero dello scienziato – discreto, cauto e poco melodrammatico – che fa credere ai più che questi non pensi, in aggiunta al fatto che laddove esiste un'alta concentrazione di scienziati di valore a certi problemi si è pensato con anni o decenni di anticipo rispetto alla polemiche che infuriano oggi.

Una testa che certamente ha pensato e ancora pensa è quella di Watson, infaticabile divulgatore e propagandista al limite della provocazione delle idee della genetica e delle loro implicazioni sociali. E il grande scienziato americano non si smentisce neppure in questa nuova opera. I capitoli si succedono svelti da Mendel ai giorni nostri e toccano tutti i punti più rilevanti dell'impresa scientifica.

Ciascuno potrà trovarvi quello che più gli o le interessa. Personalmente trovo affascinante il racconto di come sia emersa a poco a poco l'idea di un supporto materiale dell'ereditarietà e della possibilità di identificarlo, nonché il gioco delle congetture, degli entusiasmi e delle delusioni che hanno segnato quel cammino. Altri potranno appassionarsi alla caccia che è stata data negli ultimi due decenni ai geni responsabili di strazianti malattie ereditarie, come la distrofia muscolare, la fibrosi cistica o la malattia di Huntington. Altri ancora potranno essere interessati a un parere più che autorevole su questioni scottanti come l'eugenetica nelle sue varie forme, gli organismi geneticamente modificati o la possibilità di modificare il nostro genoma. Ce n'è per tutti, con sicura competenza e senza peli sulla lingua.



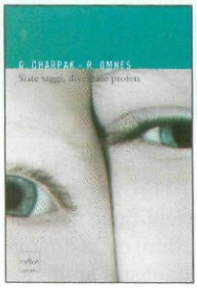
I PROBLEMI DEL MILLENNIO

di Keith Devlin
Longanesi & C., 2004, pp. 298 (euro 17,50).

Nel 1900, in una famosa conferenza, David Hilbert pose 23 problemi che avrebbero influenzato enormemente la ricerca matematica del secolo appena trascorso. Esattamente cent'anni dopo, un magnate dei fondi d'investimento, Landon Clay, attraverso il Clay Mathematics Institute, un istituto di matematica da lui finanziato, ha messo una «taglia» sulla soluzione di sette problemi matematici irrisolti, un milione di dollari per problema, scelti da una commissione di esperti internazionali come i più importanti per la matematica moderna. Matematico e divulgatore di talento, Devlin non cerca di descrivere i problemi nel dettaglio, cosa impossibile in un libro divulgativo come ammette lo stesso autore. Cerca invece di collocarli nel loro quadro storico, di spiegare cosa li rende particolarmente difficili e perché i matematici li considerino tanto importanti. L'obiettivo è ambizioso, ma non sempre il libro riesce nel suo intento. I capitoli meglio riusciti sono quelli in cui Devlin riesce a illustrare i problemi senza utilizzare formule o concetti troppo astratti: è il caso del problema P=NP o della congettura di Poincaré. Altri capitoli invece non raggiungono l'obiettivo, e non certo per colpa di Devlin, che pure cerca sempre di collocare i problemi nella loro prospettiva storica, ed è prodigo di dettagli biografici. È sicuramente impossibile cercare di spiegare la congettura di Hodge – che recita: «Ogni forma differenziale armonica (di un certo tipo) su una varietà algebrica proiettiva non singolare è una combinazione di classi di co-omologia di cicli algebrici» – allo stesso lettore cui Devlin dedica ben due pagine per spiegare che 10! si legge «dieci fattoriale». Devlin ne è ben cosciente, tant'è che è il primo ad ammettere che «fra un paio di pagine sarete assaliti da un'improvvisa deprimente sensazione di non capire nulla». Anche con il sesto problema, la congettura di Birch e Swinnerton-Dyer, una questione irrisolta che non provo neanche a descrivervi che riguarda le curve ellittiche, Devlin non ha molto successo. Nel libro sono purtroppo presenti alcuni fastidiosi svarioni. Tanto per cominciare non è vero, come l'autore ripete più volte, che la congettura di Riemann è l'unico ancora irrisolto dei 23 problemi di Hilbert. Sempre nell'ambito dei numeri primi, per esempio, la congettura di Goldbach (problema 8 assieme alla congettura di Riemann) è tuttora irrisolta. E anche il sedicesimo problema, che riguarda la topologia delle curve e delle superfici algebriche, è ancora in attesa di una soluzione. Quando Devlin descrive l'esperimento di Eddington confonde la precessione relativistica dell'orbita di Mercurio con la curvatura dei raggi luminosi provenienti da una stella misurata durante un eclisse di sole. Alcuni errori si potevano almeno correggere nell'edizione italiana, come una derivata sbagliata a pagina 191, o l'errata collocazione temporale di Daniel Bernoulli ed Eulero nella prima metà del XIX secolo. In conclusione, *I problemi del millennio* è un libro che sicuramente può interessare il pubblico interessato a una descrizione non tecnica (ma neanche banale) dei sette problemi milionari, ma che soffre della scelta di indirizzare il libro al lettore che abbia solamente «una buona conoscenza della matematica delle superiori». *Dario Bressanini*

SIATE SAGGI, DIVENTATE PROFETI

di Georges Charpak e Roland Omnès
Codice Edizioni, Torino, 2004, pp. 190 (euro 24,00).



«Come non riconoscere, da dopo Copernico, che le religioni e le filosofie si smarriscono in uno spazio divenuto troppo vasto per loro e che nessuna rivelazione lasciava prevedere. Quale coscienza si può dire indenne da questa ferita, a meno che non sia totalmente immersa nel torpore?». Forse è tutta qui, in questa riflessione che chiude le pagine introduttive, la sintesi di questo breve, onirico saggio firmato da due dei massimi fisici teorici francesi del nostro tempo. Omnès è professore emerito alla Facoltà di scienze dell'Università di Parigi XI-Orsay. Charpak ha passato una vita al CERN, dove nel 1968 ha messo a punto la camera proporzionale multifili, un rivoluzionario rivelatore di particelle che gli è valso il Nobel nel 1992. E *Siate saggi, diventate profeti* è il prodotto della loro amicizia e della loro indomita passione per la scienza. Un inno alla conoscenza che assume le sfumature dell'incanto di due eterni ragazzi mentre contemplano le leggi che presiedono all'architettura del mondo. Perché senza la scienza, senza i suoi interrogativi e le sue risposte, non si può dire di comprendere nulla di ciò che ci circonda: "la vera e propria chiave della modernità è la scoperta delle leggi di natura". Per metà didattico, per metà epistemologico, *Siate saggi, diventate profeti* è un'elegia della natura scritta con la dolcezza della poesia, che non risparmia pesanti critiche a chi si ostina a filosofeggiare in modo inconcludente alla superficie delle cose senza mai farsi carico di approfondire il meraviglioso cammino della scienza e le sue implicazioni. Dalle nostre parti ne sappiamo qualcosa, di filosofi che negano il valore della scienza come conoscenza fondando le loro affermazioni su basi quantomai sdrucciolevoli, per quanto pompose. In Francia, invece, il libro di Charpak e Omnès è diventato un caso letterario, vendendo centinaia di migliaia di copie. E forse è anche da queste piccole cose che si misura la maturità di una cultura. *Marco Cattaneo*

Fisica d'autrice

Della famiglia Curie sappiamo molto. Per esempio che hanno raccolto premi Nobel a mazzetti, nell'arco di due generazioni. Marie e Pierre per aver scoperto la radioattività naturale insieme a Henri Becquerel (e poi Marie da sola per *aver isolato il radio metallico*). La figlia Irène, invece, con il marito Frédéric Joliot-Curie ha scoperto quella artificiale. E hanno vinto un altro Nobel. Quasi nessuno, invece, sa che tra il 1907 e il 1908 Marie Curie (docente alla Sorbona dal 1906) ha messo insieme una manciata di lezioni di fisica elementare per adolescenti. Gli appunti di quelli lezioni – destinate a una dozzina di giovani «dispensati» dal Liceo – furono raccolti da Isabelle Chavannes, una delle allieve. E oggi vengono riproposti da Edizioni Dedalo con *Lezioni di Marie Curie* (2004, pp. 136, euro 14,50). Tra le righe di un esperimento sul principio di Archimede o sulla pressione dell'aria, traspaiono la scrupolosa attenzione a trasmettere i principi del metodo scientifico e l'amore per la scienza di una delle menti più straordinarie del XX secolo.

Una battaglia legale per la memoria della scienza

di Marta Paterlini

Pagine e pagine di esperimenti, appunti e pensieri, lettere, fotografie e bozze di articoli: un insieme che ha definito il campo della biologia molecolare a partire dagli anni quaranta. E una manciata di scienziati, del calibro di Max Perutz, Aaron Klug, Rosalind Franklin, James Watson e Francis Crick, per citarne alcuni.

Questo materiale, utile per comprendere il progresso della scienza, è conosciuto come «Jeremy Norman Collection». È in deposito da più di un anno nelle stanze di Christie's a New York, accanto a opere di Roy Lichtenstein, come fosse un pezzo d'arte. E come tale aspetta di essere messo all'asta.

AP Photo/Emile Wamsteker

TRA QUADRI DI PICASSO e gioielli da capogiro, la casa d'aste Christie's è pronta a mettere all'asta a prezzi milionari gli archivi di un gruppo di scienziati che hanno profondamente segnato la storia della biologia molecolare nella seconda metà del Novecento. Ma la comunità scientifica si sta mobilitando per impedire che, con la dispersione del materiale, vada perduta una straordinaria memoria storica.

Jeremy Norman, ricco californiano collezionista di libri antichi di scienza, si impose sulle scene scientifiche nel 2001 quando Francis Crick, co-scopritore della doppia elica, decise di mettere in vendita il suo archivio per la bellezza di 2,8 milioni di dollari. Norman si vide soffiare la preziosa raccolta dalla Wellcome Trust Foundation di Londra, perdendo l'occasione di arricchire il patrimonio custodito nella sua casa di Novato, in California.

Nel corso degli anni, con la mediazione del suo rappresentante Al Seckel, neuroscienziato al Caltech e anch'egli appassionato di storia della biologia molecolare, Norman era entrato in contatto con Perutz e Klug, intenzionati a vendere le proprie «tracce» scientifiche. E già allora la comunità scientifica non aveva nascosto il proprio scetticismo per la gestione privata del materiale. Gli stessi scienziati furono criticati per non essersi dimostrati interessati alle preoccupazioni di storici e archivisti.

Al momento dell'acquisto Norman aveva garantito che avrebbe mantenuto l'archivio compatto e disponibile alla consultazione per chiunque fosse stato interessato. Poi, nel 2003, il cambiamento di rotta. Forse impreparato e infastidito dal troppo parlare della stampa. Forse per una pesante perdita in borsa. Fatto sta che Norman decise di mettere in vendita il prezioso archivio in occasione del cinquantenario della scoperta della doppia elica, il 25 aprile 2003. Nessuno fu avvertito e nessuna istituzione fu interpellata. Scatenando la furia di molti, che vedono l'asta come una pericolosa dispersione di informazione: gli scienziati, primi fra tutti quelli che vendettero i documenti a Norman (o i parenti); gli storici della scienza; gli archivisti; e da ultimo Al Seckel, all'oscuro delle intenzioni di Norman.

Nonostante l'asta sia stata temporaneamente sospesa grazie all'intervento legale di Seckel e di un gruppo di agguerriti scienziati intenzionati a salvare l'integrità dell'archivio, la preoccupazione resta. «Non abbiamo molto tempo per raccogliere il denaro necessario a comprare l'archivio, tra i 2,5 e i 3,5 milioni di dollari» commenta Norton Zinder, professore emerito alla Rockefeller University e in prima linea nella battaglia legale contro Norman.

Conferme, però, non ce ne sono. Il rappresentante di Christie's non vuole commentare, e Seckel non può commentare, per non contravvenire all'impegno con i legali, ma è concorde con Zinder nel voler vedere il materiale parcheggiato da Christie's venduto *in toto*. L'intenzione sarebbe quella di trasferirlo al Cold Spring Harbor Laboratory, a cui il fondatore Jim Watson donerà il proprio archivio e dove si spera di realizzare un grande centro di consultazione per gli studiosi. Ma servono soldi.

«Ho interpellato una lunga lista di miliardari americani attivi nel campo delle biotecnologie e della finanza, personaggi come Craig Venter e David Rockefeller – continua amareggiato Zinder – ma nessuno ha dimostrato il minimo interesse a versare un quattrino per salvare l'archivio». Forse, però, c'è un aspetto positivo. Dato il disinteresse generale, Zinder e compagni sperano di non avere concorrenti e quindi di avere bisogno di meno soldi.

Il resto di questo capitolo deve ancora essere scritto. «Al momento non si sa la fine, ma la storia non è lieta – commenta Julia Sheppard, direttore della Special Collection Wellcome Library for the History and Understanding of Medicine di Londra – poiché l'intera vicenda mette in risalto una tendenza, per ora limitata a Stati Uniti e Inghilterra, a costi spaventosi degli archivi di scienziati famosi».

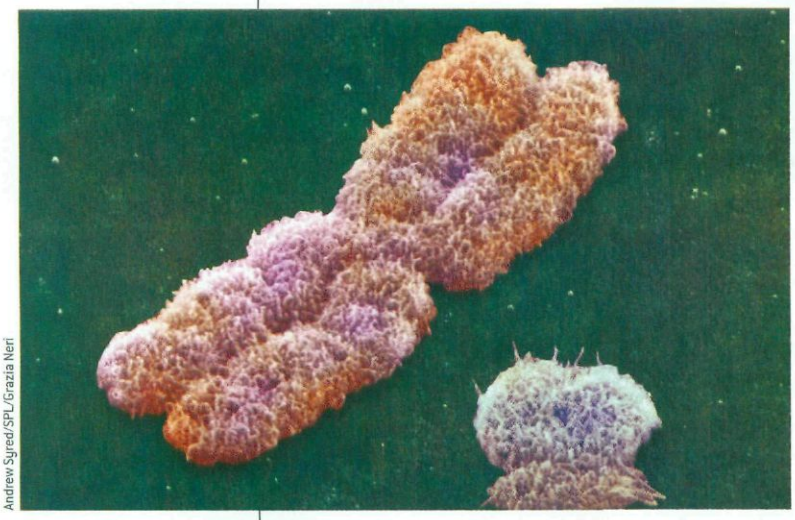
I segreti del sesso in dieci cromosomi

di Edoardo Boncinelli

Università Vita-Salute
San Raffaele, Milano

Chi non ha sentito parlare dell'ornitorinco, il curioso animale acquatico a mezza strada fra un mammifero e un uccello che vive in Australia in compagnia ad altri tipi singolari come il canguro e l'echidna? Si apprende oggi che possiede cinque coppie di cromosomi sessuali, invece dell'unica coppia che ci caratterizza, composta dai cromosomi X e Y.

Una sorta di lontra con il becco di Paperino, quest'animale ha in comune con gli uccelli il possesso di un becco e di dita palmate, ma ha quattro zampe e una densa pelliccia come un mammifero. Il complesso delle sue caratteristiche fisiche e il fatto che si riproduce deponendo uova lo pongono in una categoria sistematica a parte, quella dei monotremi, che si separarono dalla linea evolutiva che conduce ai marsupiali e ai mammiferi veri e propri più o meno 210 milioni di anni fa, circa 100 milioni di anni dopo la separazione definitiva fra mammiferi e uccelli e 30 milioni di anni prima che i marsupiali si staccassero dal resto dei mammiferi.



Andrew Syred/SPL/Grazia Neri

MOLTIPLICATO CINQUE. Negli esseri umani, l'appaiamento e la successiva separazione dei cromosomi X e Y (*nella foto*) rappresentano una fase molto delicata della meiosi, il processo di produzione dei gameti. Fase che diventa ancor più complessa nel caso degli ornitorinchi, che di cromosomi sessuali ne hanno ben dieci.

I monotremi comprendono solo tre specie viventi, l'ornitorinco e due specie di echidna, e sono stati oggetto di studi e ricerche di vario tipo. Quella più recente, pubblicata su «Nature», ha portato alla scoperta della determinazione cromosomica del sesso in questi animali, anche se ignoriamo ancora quali sono i geni direttamente coinvolti.

Nella nostra specie è maschio chi ha un cromosoma X e un cromosoma Y, mentre è femmina chi ha due copie del cromosoma X. Il cromosoma Y è piccolo e contiene pochi geni. Tra questi figura SRY, il gene che determina lo sviluppo dei testicoli, e quindi il sesso maschile. Ogni maschio adulto produce gameti, cioè spermatozoi, di due tipi diversi, gli uni contenenti il cromosoma Y e gli altri l'X, mentre le femmine producono gameti, cioè cellule-uovo, di un solo tipo, che portano un cromosoma X. Se la cellula-uovo viene fecondata da uno spermatozoo che porta l'X darà luogo a una bambina, se invece viene fecondata da uno spermatozoo che porta l'Y darà vita a un bambino.

La nascita di un numero quasi equivalente di maschi e di femmine è assicurata da una serie di processi cellulari. Nelle femmine, questi devono assicurare l'uniformità dei gameti femminili, mentre nei maschi devono condurre a una produzione bilanciata dei gameti dei due tipi. I cromosomi sessuali X e Y si devono quindi per così dire «tenere d'occhio» ogni volta che c'è una produzione di gameti, un particolare tipo di divisione cellulare che prende il nome di meiosi. Raggiungono un tale obiettivo riconoscendosi reciprocamente, appaiandosi tra loro e separandosi poi con grande accuratezza alla fine del processo.

Qualcosa di simile avviene nei polli, ma nel loro caso sono le femmine che hanno i due cromosomi sessuali diversi, chiamati Z e W, mentre i maschi hanno due copie del cromosoma Z. Non c'è prova, inoltre, dell'esistenza di un gene tipo SRY.

Ebbene, gli ornitorinchi hanno 10 tipi di cromosomi sessuali diversi, 5 di tipo X, chiamati X_1, X_2, X_3, X_4 e X_5, e 5 di tipo Y, da Y_1 a Y_5. Non si sa inoltre se possiedono un gene tipo SRY. La determinazione del sesso in questi animali non è quindi né come quella dei mammiferi, né come quella degli uccelli. Particolarmente complesso appare il controllo dell'appaiamento e della successiva separazione dei cinque tipi di cromosomi sessuali. Se nei mammiferi è fondamentale che i due cromosomi X della femmina o i cromosomi X e Y del maschio si separino con regolarità al momento della produzione di gameti, figuriamoci come deve essere complesso e accurato il meccanismo in questa specie che di cromosomi sessuali ne ha cinque coppie. In effetti, si è osservato che a ogni meiosi le cinque coppie di cromosomi sessuali si allineano e si appaiono, formando una sorta di «trenino».

Studi come questi potranno fornire interessanti indicazioni di come si è potuti passare da un'organizzazione riproduttiva ovipara come quella degli uccelli a una vivipara come quella dei mammiferi, anche se c'è ancora qualcuno che non crede all'evoluzione delle specie!

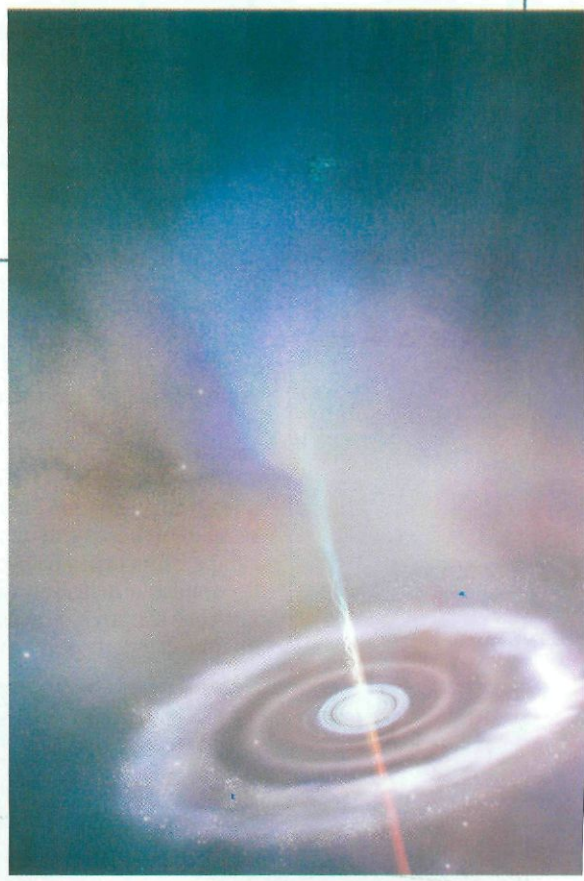
Prossimo numero

A MARZO

La crisi di mezza età dell'universo

DI LUIS P. VILLAREAL

Anche se non è più agitato dai violenti fenomeni che segnarono le prime fasi della sua evoluzione, il cosmo continua attivamente a formare stelle e galassie.

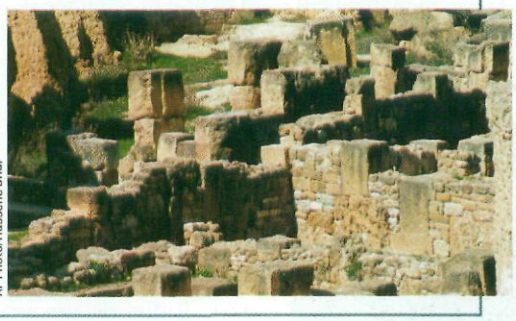


La fisica dell'omeopatia

DI STEFANO CAGLIANO E LUCA FRAIOLI

Cartagine, la grande nemica

DI THEODOR KISSEL



AP Photo/Hassene Dridi

■ RESUSCITARE UN VIRUS KILLER: la ricostruzione del virus della Spagnola ci aiuta a capire le epidemie di influenza del futuro.

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Po 12, 00198 ROMA
Indirizzo redazione: Via Cristoforo Colombo 149, 00147 ROMA tel. 06 49823181
www.lescienze.it
e-mail: redazione@lescienze.it
Servizio clienti: 199700721
(02 28009519 da Milano o da cellulare)

Direttore
Enrico Bellone

Redazione
Marco Cattaneo (*vice direttore*), Claudia Di Giorgio, Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Ale Sordi (*grafico*)

Collaborazione redazionale
Elena Bernacchi, Folco Claudi, Adriana Giannini, Gianbruno Guerrerio, Massimo Scaglione.

Segreteria di redazione
Mauro Pelella

Progetto grafico: Giovanna Salvini

Responsabile della pubblicità
Luigi Costa (tel. 348-2707911)
e-mail lcosta@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano
Telefono: (02) 574941.

Distribuzione per l'Italia
Gruppo Editoriale L'Espresso
Divisione La Repubblica,
Piazza Indipendenza 23/c, 00185 Roma.

Stampa
Seregni S.p.A., via Puecher 2, Paderno Dugnano (MI).

Consiglio di amministrazione
Marco Barina (*presidente*), Dean Sanderson (*vice presidente*), Michael Keith Florek, Roberto Moro, Fabio Tacciaria, Gretchen Teichgraeber

Direttore responsabile: Carlo Caracciolo

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Enrico Bellone

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - gennaio 2005

Copyright © 2005 by Le Scienze S.p.A.

ISSN0036-8083

Copyright © 2004-2005 by Scientific American, Inc.

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief, John Rennie. *Board of Editors*: Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins, Mariette DiChristina, Carol Ezzell, Mark Fischetti, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Steve Mirsky, George Musser, Michelle Press, Ricki L. Rusting, Michael Shermer, Sarah Simpson, Gary Stix, Paul Wallich, Philip M. Yam.

President and Chief Executive Officer, Gretchen G. Teichgraeber;
Art Director, Edward Bell;
Associate Publisher, Production, William Sherman;
Chairman, Rolf Grisebach.

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Elena Bernacchi: *Quando gli inglesi rubarono Nettuno*; Dario Calabresi: *Ottica e realismo nell'arte rinascimentale*; Aldo Conti: *I segreti meglio custoditi*; Silvio Ferraresi: *Neuroni Stupefacenti*; Massimo Scaglione: *Dinosauri nell'Alaska*; Cristina Serra: *I virus sono vivi?*

In conformità alle disposizioni contenute nell'art. 2, secondo comma, del "Codice deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica" di cui all'allegato A del D. Lgs. 30 giugno 2003 n.196, Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo 149, 00147, Roma esiste una banca dati di tipo redazionale. Ai fini dell'esercizio dei diritti di cui al D. Lgs. n. 196/2003, le persone interessate potranno rivolgersi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo 149, 00147 Roma.

ABBONAMENTI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Tel.199.700721 (02 28009519 da Milano o da cellulare), Fax 02 26681991
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 70648277, Fax. 02 26681991

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 7,80
Estero	
abb. annuale	€ 52,00
abb. biennale	€ 87,00
abb. triennale	€ 110,00

FIEG Federazione Italiana Editori Giornali

Accertamenti Diffusione Stampa ads